



APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA COMO PRUEBA DIAGNÓSTICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA ANSIEDAD ACADÉMICA POR EXÁMENES FINALES EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

ERIKA MARIANA ALZATE POSSO

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Físico

Director

Ph. D. Milton Humberto Medina Barreto

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA, FÍSICA, Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Pereira

2020

*"...All our science, measured against reality, is primitive and childlike, and yet it
is the most precious thing we have."*
[Albert Einstein. Hans Muehsam, 1951]

*"Education is the most powerful weapon which you can use to change the world.
Speech"*
[Nelson Mandela, Boston, 23 June 1990]

"If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants."
[Isaac Newton. Robert Hooke, 1676]

Dedicatorias

"A quien me permitió cercar sueños con cumbres inquebrantables".

*A mis padres, hermanos y amigos por llenarme de propósitos y metas. Por estar
presentes desde el inicio hasta el fin.*

*A cada uno de mis profesores, por ser los pilares y constructores de mi vida
profesional.*

A la mujer más valiente y la madre más abnegada que he conocido.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco al Grupo de Investigación en Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales (GIMM) de la Universidad Tecnológica de Pereira y a su directora Ph. D. Beatriz Cruz por abrir sus puertas para la realización de este trabajo de grado durante más de tres años de crecimiento profesional.

Al profesor Milton Humberto Medina por su criterio profesional, apoyo constante y conocimientos aportados. Sin duda alguna este trabajo es gracias a su gran esfuerzo y dedicación.

Gracias al grupo de investigación de Electrofisiología y a sus integrantes por aportar sus conocimientos y experiencia. Así mismo a cada uno de los integrantes del GIMM por su compañía y respaldo.

Gracias infinitas a mis padres, hermanos y amigos, por ayudarme a escalar esta meta, por su perseverancia, amor íntegro y comprensión.

A Kalu Gaviria, mi maestro de vida moderno, quien me enseñó a no rendirme y a dar lo mejor de mí para ayudar a otros.

De igual forma a los amigos de Ingeniería Física, por su apoyo personal y humano; personas con quienes compartí proyectos y esperanzas durante todos estos años.

A cada uno de los profesores que me formaron no solo como profesional sino también como persona. En especial a los profesores Jennifer Bustamante y Sebastián Martínez por su colaboración en la creación de las diferentes aplicaciones tecnológicas de este trabajo; al profesor Alberto Gómez porque gracias a la pasión al dictar sus clases pude recordar porque deseaba estudiar Ingeniería Física y al profesor Ricardo López por la dedicación y esfuerzo en el programa durante tantos años.

Agradezco de igual forma a la profesional del PAI Valentina Castaño por haber sido parte de este trabajo de investigación con sus conocimientos y tiempo invertido.

Contenido

Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	6
Capítulo 1	8
1. Introducción	8
1.1. Planteamiento y justificación	9
1.2. Objetivos.....	10
1.2.1. General	10
1.2.2. Específicos	10
1.3. Estructura de la tesis	11
Capítulo 2	12
2. Marco teórico	12
2.1 Concepto de ansiedad	12
2.1.1 Prevalencia de la ansiedad.....	12
2.1.2 Mecanismos de diagnóstico.....	13
2.2 Radiación electromagnética	15
2.2.1 Definición.....	15
2.2.2 Radiación infrarroja	16
2.2.3 Concepto de emisividad	16
2.2.3 Ley de Stefan-Boltzmann	17
2.3 Termografía infrarroja.....	18
2.4 Determinación de medidas estadísticas	18
2.5 Antecedentes bibliográficos	21
Capítulo 3	24
3. Metodología experimental.....	24
3.1 Caracterización ambiental del espacio	25
3.1.1 Descripción del espacio.....	25
3.1.2 Descripción zona de mediciones termográficas	26
3.1.3 Descripción de la caracterización ambiental del espacio	26
3.2 Selección de documentos.....	27
3.2.1 Consentimiento informado.	28
3.2.2 Prueba psicológica	28
3.2.3 Formulario personal	28
3.2.4 Protocolo de reporte de medición de cada ensayo	29
3.3 Aplicación de la prueba piloto.	29
3.3.1 Selección de los momentos	29
3.3.2 Selección de los sujetos.....	30
3.3.3 Obtención de los índices de evaluación de ansiedad (I.E.A.)	30
3.3.4 Adquisición de las imágenes termográficas	31
3.4 Análisis de los datos	32
3.4.1 Índices de ansiedad I.E.A.	32
3.4.2 Análisis de ROI (Biomarcadores térmicos para la ansiedad)	33
3.4.3. Tamaño de muestreo (Prueba de validación)	35

3.5 Prueba de validación.....	36
3.5.1 Selección de los momentos	36
3.5.2 Selección de los sujetos.....	36
3.5.3 Obtención de los índices de ansiedad	37
3.5.4 Adquisición de las imágenes	38
Capítulo 4	39
4. Resultados	39
4.1 Caracterización del espacio.....	39
4.2 Prueba piloto	46
4.2.1 Caracterización de los sujetos.....	46
4.2.2 Análisis de fiabilidad de la escala y evaluación de los I.E.A.....	46
4.2.3 Análisis ROI (Biomarcador térmico ubicado en la nariz)	51
4.2.4 Correlaciones	54
4.2.5 Tamaño de la muestra de validación.....	58
4.3 Prueba de validación.....	59
4.3.1 Caracterización de los sujetos.....	59
4.3.2 Evaluación de los I.E.A.....	60
4.3.3 Análisis ROI (Biomarcador térmico ubicado en la nariz)	62
4.3.4 Correlaciones	66
Capítulo 5	70
5. Conclusiones y perspectivas	70
5.1 Conclusiones	70
5.2 Perspectivas.....	71
Capítulo 6	73
6. Referencias bibliográficas	73
Anexos	75
Anexo 1 (Eventos).....	75
Anexo 2 (Modelo de Consentimiento informado).....	76
Anexo 3 (Formulario personal)	76
Anexo 4 (Formulario de reporte de cada ensayo)	78
Anexo 5 (Tablas de los diferentes tamaños del biomarcador para la prueba de validación)	78
Anexo 6 (Artículo para publicación)	82

Índice de figuras

Fig. 1 Diagrama de flujo que describe el proceso de diagnóstico clínico de trastornos de ansiedad [10].	13
Fig. 2 Rango infrarrojo dentro del espectro electromagnético [12].	16
Fig. 3 Curvas ROC (1) AUC=1 que se define como un diagnóstico perfecto, (2) AUC=0,8 diagnóstico aceptable, (3) AUC=0,5 Sin valor diagnóstico	21
Fig. 4 Esquema metodológico de la investigación en donde se muestran las diferentes etapas de desarrollo.	24
Fig. 5 Plano del espacio 1A-125 de la Universidad Tecnológica de Pereira. (1) CVDAA, (2) Cámara FLUKE TI300, (3) Deshumidificador, (4) Aire acondicionado, (5) (6) (7) Computadores de mesa (8) Espectrofotómetro, (9) Cabina de extracción de gas (10) Electroimán	25
Fig. 6 Plano de la zona de mediciones termográficas. (1) Mesa de soporte 0,48 m ² , (2) Fondo oscuro, (3) Soporte para la cabeza ubicada a 0,37 m de la mesa, (4) Trípode para la ubicación de la cámara ubicado en un área de 0,66 m ² y con una altura de 1,36 m, (5) Ancho de la patas traseras del trípode 0,87m, (6) Distancia de las patas traseras a la pata frontal del trípode 0,76 m, (7) Espacio para bascula digital.	26
Fig. 7 (1) Ubicación de la cámara para la caracterización, (2) Ubicación del deshumidificador, (3) Ubicación del aire acondicionado.	27
Fig. 8 (1) Bascula digital Health Dupree, (2) Termohigrómetro, (3) termómetro de contacto Doctor Instruments.	29
Fig. 9 Posición de la cámara con respecto a uno de los sujetos durante la prueba piloto	31
Fig. 10 Posiciones de adquisición de las imágenes de uno de los sujetos con respecto a la cámara durante la prueba piloto (1) Posición frontal, (2) Lateral izquierda, (3) Lateral derecha, (4) Posterior.	32
Fig. 11 Metodología para la detección de ROI'S y localización de biomarcadores	33
Fig. 12 (1) Imagen sin fondo, segmentada y con los valores de temperatura recuperados, (2) Imagen con aplicación del rango de 10%, (3) Imagen con definición de bordes, (4) Imagen final con etiquetado.	35
Fig. 13. (1) Entrar en la interfaz de inicio de la aplicación donde se debe seleccionar la prueba psicológica a utilizar, (2) Responder el formulario del test seleccionado y calcular el I.E.A (3) Guardar la información en el formulario de registro de los participantes.	37
Fig. 14 Posición de la cámara con respecto a uno de los sujetos durante la prueba de validación.	38
Fig. 15 Temperatura (con sus respectivas barras de incertidumbre) en función del tiempo, (1) Temperatura dentro del recinto (Rojo), (2) Temperatura fuera del recinto (Azul).	40
Fig. 16 Humedad (con sus respectivas barras de incertidumbre) en función del tiempo, (1) Humedad dentro del recinto (Rojo), (2) Humedad fuera del recinto (Azul).	41
Fig. 17 Distribución de probabilidad para la temperatura. (1) Dentro del recinto, (2) Fuera del recinto	43
Fig. 18 Distribución de probabilidad para la humedad. (1) Dentro del recinto, (2) Fuera del recinto.	44
Fig. 19 Comportamiento térmico, con respectivas barras de incertidumbre	45
Fig. 20 Curva ROC (Exámenes finales). Se marcan en color azul los I.E.A y en rojo los biomarcadores.	56
Fig. 21 Curva ROC (Exámenes finales). Se marcan en color azul los I.E.A y en rojo los biomarcadores	57
Fig. 22 Curva ROC (Inicio de semestre) Prueba de validación. Se marca en color azul la curva ROC para los I.E.A y en rojo la curva ROC los biomarcadores.	67
Fig. 23 Curva ROC (Exámenes finales) Prueba de validación. Se marca en color azul la curva ROC para los I.E.A y en rojo la curva ROC los biomarcadores.	69

Índice de tablas

Tabla 1. Equivalencia clínica para cada uno de los rangos de ansiedad obtenidos según la escala de Zung	14
Tabla 2 Valores de emisividad de referencia para algunos materiales [13].	17
Tabla 3 Criterios de interpretación del alfa de Cronbach [23].	20
Tabla 4 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la caracterización térmica.	27
Tabla 5 Incertidumbre tipo A (μA), incertidumbre tipo B1 ($\mu B1$), incertidumbre tipo B2 ($\mu B2$), incertidumbre combinada (μC), aplicación del criterio de distribución dominante, número efectivo de grados de libertad (γef), factor de cobertura (kp) e incertidumbre expandida (μE).	39

Tabla 6 Incertidumbre tipo A (μA), incertidumbre tipo B1 ($\mu B1$), incertidumbre tipo B2 ($\mu B2$), incertidumbre combinada (μC), aplicación del criterio de distribución dominante, número efectivo de grados de libertad (γ_{ef}), factor de cobertura (kp) e incertidumbre expandida (μE).	42
Tabla 7 Curtosis para valores registrados con el termohigrómetro.	42
Tabla 9 Medidas estadísticas de cada uno de los reactivos en el momento I (Exámenes finales)	47
Tabla 10 Estadísticos de correlación. (1) Varianza si el reactivo se ha suprimido, (2) Correlación de Pearson corregida (3) Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido	48
Tabla 11 Medidas estadísticas de cada uno de los reactivos en el momento II. (Inicio de semestre)	49
Tabla 12 Estadísticos de correlación. (1) Varianza si el reactivo se ha suprimido, (2) Correlación de Pearson corregida, (3) Alfa de Cronbach	50
Tabla 13 Índices de ansiedad con su respectiva interpretación clínica para el momento I (Exámenes finales) y el momento II (Inicio de semestre). Se han marcado en color rojo los sujetos con ansiedad moderada y en verde aquellos sin presencia de ansiedad.	51
Tabla 14 Cambio de temperatura promedio $\Delta T(^{\circ}C)$ del biomarcador (Nariz) para cada momento, siendo TI la temperatura promedio del biomarcador en el momento de exámenes finales y TII la temperatura promedio del biomarcador al inicio de semestre.	52
Tabla 15 Cambio de Área (mm^2) del ROI (Nariz) para cada momento, siendo AI el área del biomarcador en el momento de exámenes finales y AII el biomarcador en el momento de inicio de semestre. Se han marcado en color azul los decrementos de área y en color rojo los incrementos.	54
Tabla 16 Clasificación de los participantes según las pruebas aplicadas en el momento I (Exámenes finales)	55
Tabla 17 Resumen de casos momento I (Exámenes finales)	55
Tabla 18 Variables de resultado para ambas pruebas	56
Tabla 19 Clasificación de los sujetos según las pruebas aplicadas en el momento de inicio de semestre académico	57
Tabla 20 Resumen de casos momento de inicio de semestre académico	57
Tabla 21 Variables de resultado para ambas pruebas en el momento de exámenes finales	58
Tabla 22 Generalidades entre los dos momentos. Se muestra en color azul el caso crítico para un sujeto con ansiedad y en rojo para un sujeto sin ansiedad.	58
Tabla 23 Índices de ansiedad con su respectiva historia clínica en ambos momentos. Se han marcado en color rojo los casos diagnosticados con anterioridad y en azul los casos que hicieron parte de la prueba piloto.	61
Tabla 24 Cambio de temperatura promedio ($^{\circ}C$) del biomarcador ubicado en la (Nariz) para rangos de 10, 12, 14 y 16 por ciento categorizada por géneros y casos.	63
Tabla 25 Clasificación de los sujetos según las pruebas aplicadas en el momento I (Inicio de semestre académico)	66
Tabla 26 Resumen de los casos	66
Tabla 27 Variables de resultado para ambas pruebas en el momento I	67
Tabla 28 Clasificación de los sujetos según las pruebas aplicadas en el momento II	68
Tabla 29 Resumen de los casos	68
Tabla 30 Variables de resultado para ambas pruebas en el momento II	69

Capítulo 1

1. Introducción

La termografía infrarroja (TIR) es una técnica cada vez más usada en diferentes áreas del saber. Según A. Moliné *et al.*, está siendo fuertemente empleada en el campo de la psicología, para estudiar los procesos psicológicos [1]. En medicina, el fundamento del uso de esta técnica reside en que bajo los cambios de temperatura existen condiciones médicas particulares vinculadas a la existencia de anomalías, como presencia de tumores, inflamación, infección o cambios en la función del sistema nervioso [2]. La termografía infrarroja aprovecha la radiación térmica emitida naturalmente por el cuerpo para hacer mediciones de manera no invasiva, ecológica y libre de contacto. Sin embargo como sugiere S. Ioannou *et al.*, el control de temperatura asociado con reacciones emocionales es mucho más complejo, ya que tiene diferentes finalidades, diferentes sistemas de neuroregulación, y sus propias huellas térmicas [3]. En los últimos 20 años la aplicación de la termografía a la medicina ha hecho posible que otras disciplinas como la psicología, conozcan el potencial del cambio de temperatura corporal como posible correlación fisiológica de procesos psicológicos básicos como lo es la ansiedad [4].

La ansiedad se considera un proceso psico-biológico básico, el cual se manifiesta como respuesta a estresores o situaciones de amenaza y definen el comportamiento de los individuos [5]. Existen muchas situaciones en el ámbito universitario que pueden tener impacto negativo en la salud mental y física, los cuales favorecen la aparición de la ansiedad. En Colombia se presentan múltiples situaciones que aumentan el riesgo de padecer trastornos mentales; en particular de la ansiedad, entre las cuales se incluyen: dificultades en el acceso a educación, intensa migración urbana, falta de capacitación laboral, delincuencia, y consumo de sustancias tóxicas. Según la Encuesta Nacional de Salud Mental de 2003 existe una alta tasa de prevalencia de trastornos mentales, dentro de los cuales los trastornos de ansiedad son de mayor prevalencia que otros, en particular en adolescentes y jóvenes [6].

Actualmente se conocen diferentes mecanismos de diagnóstico para la ansiedad. Uno de los más usados es la evaluación mediante el autoinforme, el cual corresponde al uso de inventarios, cuestionarios y escalas como el inventario de ansiedad estado-rasgo de Spielberger, la escala de ansiedad manifiesta de Taylor [7] y la escala de ansiedad de Zung (ZAS por sus siglas en inglés), siendo esta última una de las más aplicadas y aceptadas en Colombia dentro del ámbito académico [5]. Sin embargo, aunque estas herramientas facilitan dar una consideración del estado ansioso de una persona y a pesar de su gran facilidad de aplicabilidad, carecen de especificidad y objetividad que puede presentarse al responder los diferentes cuestionarios. Por lo tanto, se hace presente la necesidad de contribuir investigativamente en nuevas técnicas que permitan llegar a un diagnóstico complementario para estas pruebas.

Existen otro tipo de métodos basados en la evaluación de respuestas fisiológicas que funcionan como marcadores para evaluar la ansiedad, como lo son la tasa cardiaca y el cortisol producto del

eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (HPA), los cuales requieren el uso de procedimientos como electrocardiogramas (ECG) y encefalogramas (EEG) que en comparación con el análisis de la actividad térmica de la piel medida con termografía infrarroja (TIR), resultan ser sistemas complejos que requieren un acondicionamiento de señal que por lo general no resulta ser simple [8]. Los estudios demuestran la fiabilidad de la TIR comparando esta técnica repetidas veces con otras como las mencionadas anteriormente [3]. Sin embargo, esta técnica tiene la desventaja de requerir un exhaustivo control de las condiciones ambientales y un proceso de aclimatación térmica de la piel si es un estudio realizado sobre seres orgánicos.

En este trabajo de grado avalado por el comité de bioética de la Universidad Tecnológica de Pereira, se presenta un desarrollo metodológico e investigativo que tiene como objetivo usar la TIR como técnica diagnóstica de ansiedad académica a partir de la localización de ROI'S (Regions of Interest) e identificación de biomarcadores térmicos, en correlación con estados de ansiedad ante exámenes finales, usando como herramienta de medida la escala de ansiedad de Zung.

1.1.Planteamiento y justificación

Uno de los grupos sociales con más alto riesgo de padecer ansiedad es el grupo de los estudiantes universitarios; esto debido a las exigencias psicológicas, sociales, académicas y elevado estrés al que deben enfrentarse constantemente. La importancia de realizar estudios en este tema, radica en que es un problema que afecta la salud física, emocional y social que agrava la condición y disposición académica de quien la padece [6]. Un diagnóstico usual para la ansiedad es a través de pruebas psicológicas basadas en una escala específica; como lo es la escala de diagnóstico de ansiedad de Zung, la cual consiste en veinte preguntas (Reactivos) en las que se evalúan tanto síntomas ansiosos como síntomas somáticos [5]. Las pruebas psicológicas si bien, son las más conocidas y usadas en este campo diagnóstico, surgen de un proceso intrínseco; razón por la cual actualmente se estudian métodos que permitan profundizar sobre el diagnóstico y tratamiento de la ansiedad de una manera objetiva y no invasiva [3].

Actualmente se usan diferentes métodos para la medición de procesos psicológicos como la ansiedad. El uso de encefalogramas (EEG) con los cuales se puede medir la actividad eléctrica de diferentes regiones del cerebro es uno de estos métodos, con el cual es posible determinar los estímulos desencadenantes de la ansiedad; sin embargo este mecanismo requiere del uso de cableado y electrodos que sin un buen acondicionamiento producen ruido en la señal obtenida [7]. El uso de electrocardiogramas (ECG), también ha sido implementado en este tipo de diagnóstico; sin embargo al igual que los EEG requieren de elementos de adquisición de la señal que generan ruido en la medida. Es importante mencionar que la ansiedad no es solo un factor psicológico, sino que también produce cambios fisiológicos medibles, tales como taquicardia, opresión torácica, malestar epigástrico [8] entre otros factores, como los son cambios de temperatura en algunas zonas del cuerpo [1, 2, 3, 8]. En este último caso se requiere de una técnica que permita medir las variaciones de temperatura relacionadas con la ansiedad. La termografía infrarroja es una técnica no invasiva que permite grabar la temperatura emitida por

un objeto sin tener contacto con este [1], y en algunas investigaciones recientes [1, 2, 3, 8], se ha inferido en que puede llegar a ser una gran herramienta de diagnóstico en psicología si se profundiza en el estudio de su aplicabilidad. Una imagen térmica infrarroja, aprovecha el proceso de irradiación emitida de forma natural por el cuerpo, lo cual permite almacenar información de la temperatura cutánea de forma no invasiva, ecológica y sin contacto [3]. Ahora bien, siendo la ansiedad un proceso psicofisiológico que produce alteraciones en el cuerpo, como puede ser cambios importantes en la temperatura de algunas zonas que usualmente identificaremos como *Biomarcadores* y la termografía infrarroja como técnica nos permite detectar dichos cambios. Podemos plantearnos la siguiente pregunta: ***¿De qué manera podría correlacionarse la adquisición y procesamiento de imágenes termográficas con factores de ansiedad en un ambiente académico?***

Para el año 2003 en Colombia la prevalencia de vida de cualquier trastorno mental en la población general fue de 40,1%, siendo los adolescentes y adultos jóvenes los más afectados, y entre dichos trastornos los más altos correspondieron a la ansiedad (las edades promedio de inicio de fobia social, agorafobia y trastorno de pánico fueron 14, 16 y 18 años, respectivamente (*Encuesta Nacional de Salud Mental en Colombia, 2003*) [6]. Para el año 2015 según estadísticas del Observatorio Nacional de Salud Mental en Colombia, en uno de sus estudios realizados en 15.351 personas de las regiones atlántica, oriental, central y pacífica; se encontró que el 52,9% de la población entre 18 y 44 años presentaban uno o más sistemas de ansiedad, mostrando una prevalencia del 2,7% (*Observatorio de salud mental en Colombia, 2015*) [9]. En Colombia se presentan múltiples situaciones que aumentan el riesgo de padecer trastornos en la salud mental, particularmente de la ansiedad. Uno de los campos donde ésta se presenta en mayor grado, es en el campo universitario debido a sus exigencias psicológicas, sociales, académicas y elevado estrés al que se enfrentan día a día. Por tal razón, la importancia de estudiar la ansiedad en estudiantes universitarios radica en que es un problema que afecta la salud física, mental y emocional de quien la padece [6]. De manera que, un diagnóstico específico y anticipado podría prevenir casos crónicos, pudiendo identificar los factores de riesgo mediante el establecimiento de un protocolo de detección temprana y una futura intervención.

1.2.Objetivos

1.2.1. General

Diseñar e implementar un protocolo que permita estandarizar la adquisición, procesamiento y posterior análisis de imágenes infrarrojas, como técnica diagnóstica de ansiedad académica en estudiantes universitarios.

1.2.2. Específicos

- Diseñar e implementar una metodología para la ejecución de una prueba piloto con la cual se pueda recolectar información de la ansiedad académica a partir de la aplicación de un autoinforme de ansiedad y la adquisición de imágenes térmicas infrarrojas.
- Analizar los resultados de la prueba piloto y determinar la correlación entre las imágenes termográficas obtenidas, en comparación con el autoinforme psicológico

- seleccionado. A partir de la identificación de posibles biomarcadores térmicos relacionados con cambios de temperatura como respuesta a la ansiedad académica.
- Validar los resultados de la prueba piloto mediante la ejecución de una prueba de validación sobre una muestra de 30 estudiantes del programa de ingeniería física de la Universidad Tecnológica de Pereira.

1.3.Estructura de la tesis

Esta tesis está dividida en seis capítulos principales. En el primer capítulo se hace una breve introducción en donde se mencionan algunas de las aplicaciones de la termografía infrarroja en el campo médico; posteriormente se presenta el planteamiento y la justificación pertinentes en donde se exponen la necesidad y relevancia de este trabajo en conjunto con los objetivos que llevarán a cumplir con la solución de las problemáticas en cuestión.

En el capítulo dos se muestra el marco teórico necesario para asimilar los principios físicos y conceptuales necesarios para la comprensión e interpretación de los respectivos resultados obtenidos, además de los antecedentes bibliográficos que llevaron a cabo el desarrollo de este trabajo.

El capítulo tres expone el protocolo metodológico llevado a cabo tanto en la prueba piloto como en la prueba de validación, para la obtención de las imágenes termográficas y los índices de evaluación de ansiedad en los dos momentos determinados; además, se muestran las técnicas y herramientas usadas del procesamiento de las imágenes en Matlab para determinar los biomarcadores térmicos relacionados con la ansiedad académica.

En el capítulo cuatro se presentan los respectivos resultados obtenidos en este trabajo investigativo en concordancia con los objetivos planteados en la introducción. El capítulo cinco contiene las conclusiones pertinentes a los resultados obtenidos y objetivos propuestos incluyendo también algunas perspectivas de futuros trabajos basados en el procesamiento de imágenes termográficas como método diagnóstico de patologías psicológicas.

Finalmente el capítulo seis presenta el referente bibliográfico que sustenta el propósito e iniciativa de esta tesis. Además se muestran los diferentes anexos empleados a lo largo del desarrollo del presente trabajo de grado.

Capítulo 2

Dato histórico

Hace 2000 años Hipócrates aplicaba barro al cuerpo de sus pacientes y veía que el barro se secaba a diferentes velocidades en las diversas áreas del cuerpo, mostrándole a él las áreas sugestivas de inflamación y por ende de enfermedad, recordando que el calor es considerado uno de los signos cardinales de la inflamación. En 1956 Ray Lawson, reporta la primera aplicación médica de la termografía en el diagnóstico de cáncer de mama, observando un incremento térmico en zonas de afectación cancerígena. En 1971 la Sociedad Europea de Termografía celebró su primer congreso dándole pie a futuras investigaciones como la que veremos en este capítulo.

2. Marco teórico

El marco teórico que se presenta a continuación permite conocer los conceptos básicos necesarios para el desarrollo de este proyecto, el cual está basado en las revisiones bibliográficas encontradas con respecto al tema y sirven como base para el diseño del protocolo. El propósito de este capítulo es presentar una estructura conceptual y teórica que será determinante en el desarrollo de esta investigación. El procedimiento metodológico aplicado en este trabajo, será presentado en el capítulo 3 (ver pág.24), seguido del análisis de los resultados y conclusiones obtenidas.

2.1 Concepto de ansiedad

La ansiedad se considera un proceso psico-biológico básico, el cual se manifiesta como respuesta a estresores o situaciones de amenaza y definen el comportamiento de los individuos. Cuando se presenta de manera excesiva o desmedida se considera un trastorno. Entre los trastornos más comunes de ansiedad podemos encontrar la fobia, y el trastorno de ansiedad generalizada. Los trastornos de ansiedad se convierten en los problemas más comunes de salud mental en adultos en Colombia. Estudios reportan que aproximadamente 40% de la población refiere síntomas de ansiedad con importancia clínica y hasta 20% muestran algún trastorno de ansiedad específico [5].

2.1.1 Prevalencia de la ansiedad

La ansiedad suele presentarse de tres tipos. 1) **Normal**, en la cual hay manifestaciones como respuesta a un estímulo 2) **Patológica**, donde no hay ningún estímulo 3) **Generalizada** cuando se presenta prolongación sin estímulo previo. Según A. Cardona *et al.*, la prevalencia de vida (Número de personas que han tenido determinado trastorno en algún momento de su vida) de

cualquier trastorno mental en la población general es de 40,1 %, siendo los adolescentes y adultos jóvenes los más afectados, en especial aquellos que están involucrados en el ámbito académico debido al aumento de la presión psico-social. Los trastornos de ansiedad son los de mayor prevalencia con 19,3% de la población entre los 18 y 65 años [6]. Los estudios muestran además que solo el 1,9% de estos individuos afectados acude en busca de ayuda psicológica, el 5,6% acuden al médico general y el 3,9% escogen un método alternativo, según el *Ministerio de la Protección Social de Colombia, 2003* [6].

2.1.2 Mecanismos de diagnóstico

El diagnóstico de los trastornos de ansiedad presenta algunas dificultades puesto que el cuadro clínico muestra en primer plano una sintomatología somática, mientras que los problemas mentales solo son evidentes cuando el médico los indaga. Según J. Américo es posible realizar un diagnóstico médico para la ansiedad siguiendo el flujograma que se presenta a continuación:

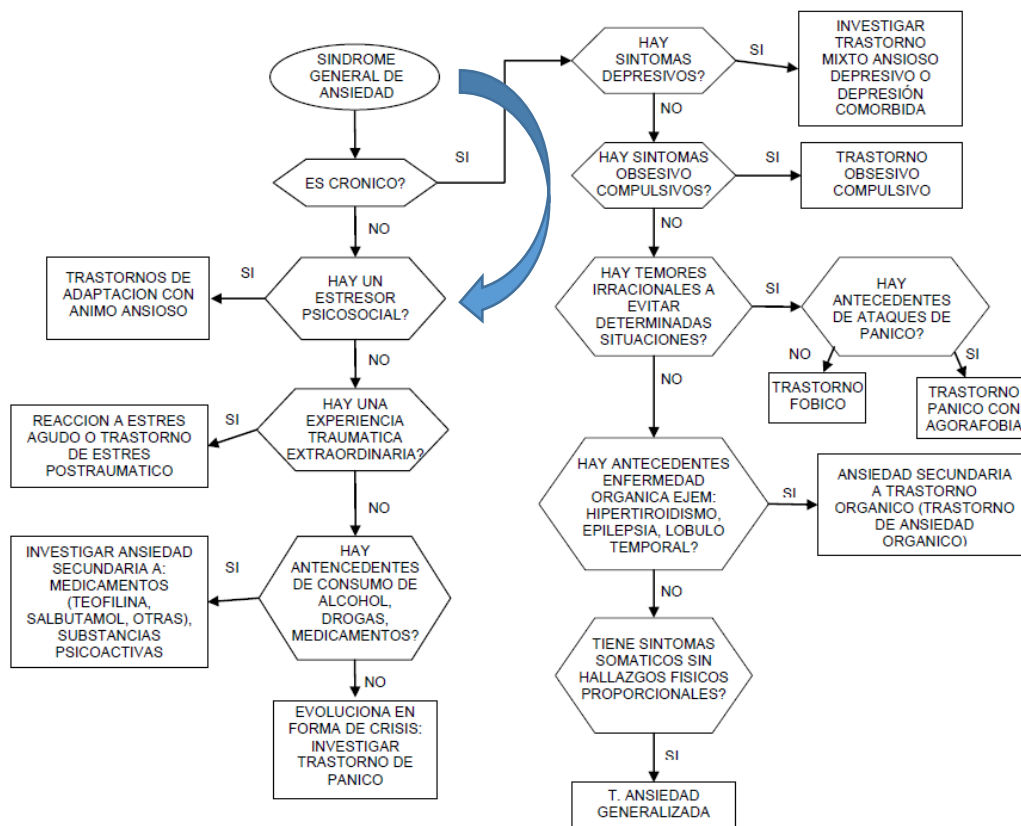


Fig. 1 Diagrama de flujo que describe el proceso de diagnóstico clínico de trastornos de ansiedad [10].

Como se muestra en el diagrama anterior, si nos referimos a los estresores generados dentro de la vida universitaria cuando no hay un estado crónico; podemos identificar un diagnóstico de ansiedad de trastornos de adaptación con ánimo ansioso, como lo muestra la flecha azul de la figura 1. Hoy en día se han identificado diferentes mecanismos para la evaluación de la ansiedad.

Estos mecanismos pueden ser resumidos en tres categorías [7]:

Método observacional

Este método evalúa el comportamiento conductual y puede hacerse de manera directa (Ambiente natural) o indirectamente (Bajo estímulos generadores de ansiedad). Uno de los test más usados en las medidas indirectas es el test de BAT que sirve para detectar respuestas a estímulos de fobia.

Evaluación mediante autoinforme

El método de la evaluación mediante autoinforme ha sido el más ampliamente utilizado para el diagnóstico de ansiedad. Este consiste en el uso de una serie de instrumentos de medida en las que se adquiere información que la persona suministra sobre sí misma o su comportamiento. Este incluye entrevistas, inventarios, autorregistros, cuestionarios y escalas. Entre los más conocidos encontramos el inventario de ansiedad estado-rasgo de Spielberger, la escala de ansiedad manifiesta de Taylor y la escala de ansiedad de Zung.

Escala de ansiedad de Zung

La escala de autoevaluación de Zung consta de 20 preguntas tipo Likert (Método de medida del grado de acuerdo o desacuerdo de una afirmación) de cuatro niveles, de las cuales 15 preguntas (1,2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18 y 20) están fraseadas de manera que si el sujeto elige las opciones que denotan mayor frecuencia, el puntaje de ansiedad será mayor; mientras que cinco de las preguntas (5, 9, 13, 17 y 19) tienen una direccionalidad opuesta [5]. El índice de la escala de ansiedad (I. E. A.) se obtiene sumando el puntaje de los valores otorgados a cada una de las 20 preguntas, donde el puntaje máximo es de 80 y el mínimo de 20. La **ecuación 2.1**. Muestra el procedimiento específico para calcular los I.E.A, los cuales están relacionados con estados de ansiedad como se muestra en la *Tabla 1*, donde según la equivalencia clínica se asume presencia de ansiedad con puntajes superiores al 45%.

$$I. E. A = \frac{TOTAL}{80} * 100\% \quad (2.1)$$

Tabla 1. Equivalencia clínica para cada uno de los rangos de ansiedad obtenidos según la escala de Zung

I.E.A.	EQUIVALENCIA CLÍNICA
Menos de 45	Dentro de límites normales. No hay ansiedad presente.
45 – 59	Presencia de ansiedad mínima moderada.
60 – 74	Presencia de ansiedad marcada a severa.
75 a más	Presencia de ansiedad en grado máximo.

Evaluación de respuestas fisiológicas

Está constituida por los registros psicofisiológicos y las respuestas somáticas producidas durante periodos de ansiedad. La gran ventaja de la evaluación del registro de respuestas fisiológicas radica en que debido a que son respuestas involuntarias, la medida está relativamente libre de las influencias voluntarias del sujeto. Entre las respuestas fisiológicas para medir la ansiedad podemos encontrar la tasa cardiaca, actividad electromiográfica (Actividad eléctrica producida por los músculos) y la actividad electrotérmica (Transformación de la energía eléctrica del cuerpo en calor) Esta última es de gran importancia en este trabajo investigativo y será desarrollada a lo largo de este capítulo.

2.2 Radiación electromagnética

2.2.1 Definición

La radiación electromagnética se define como el flujo de energía que sale de una fuente en forma de onda electromagnética. Una onda electromagnética es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento. Se caracteriza por su longitud de onda (λ), es decir la distancia espacial entre dos crestas de onda. Estas longitudes de onda son, directamente proporcionales a la velocidad (c) e inversamente proporcionales a la frecuencia (ν) y energía (E) que transportan de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad E = h\nu \quad (2.2)$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío ($c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$) y ($h = 6,6261 * 10^{-34} \text{ J/s}$) se conoce como la constante de Planck

Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias (Numero de ciclos por unidad de onda) posibles a las que se produce la radiación electromagnética. La energía procedente de un objeto caliente se emite a diferentes niveles en el espectro electromagnético. En la mayoría de las aplicaciones industriales se utiliza la energía radiada en el espectro infrarrojo para medir la temperatura de un objeto [11]. La *figura 2* muestra el espectro electromagnético dentro del cual se presenta el rango de medición de infrarrojos compuesta por longitudes que se pueden subdividir entre: SIR (short Infrared, $780 \text{ nm} - 3 \mu\text{m}$), MIR (middle infrared $3 - 5 \mu\text{m}$), y FIR (far infrared $1 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$)

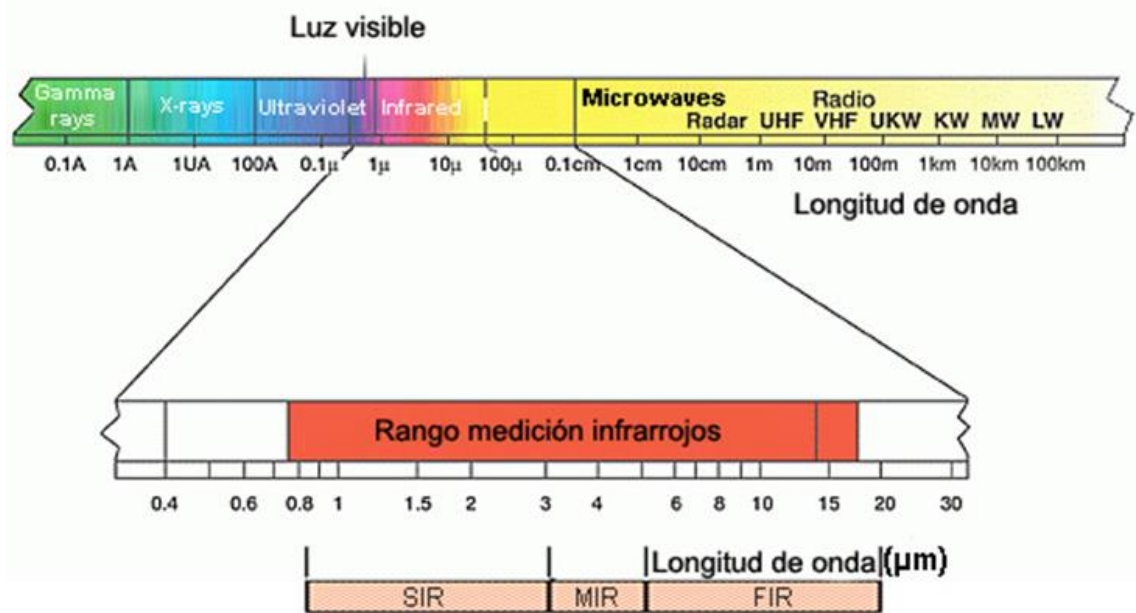


Fig. 2 Rango infrarrojo dentro del espectro electromagnético [12].

2.2.2 Radiación infrarroja

La longitud de onda de la radiación infrarroja se encuentra entre los 0,7 y los 1000 μm. Las emisiones producidas por la radiación infrarroja pueden ser detectadas por cámaras térmicas las cuales perciben esta forma de radiación a través de un sistema óptico que se encarga de llevar la energía radiada a un sensor, convirtiendo la radiación infrarroja en tensión eléctrica que después de un procesamiento complejo de la señal y su respectiva amplificación se utiliza para construir una imagen térmica conocida como termograma [11].

2.2.3 Concepto de emisividad

La emisividad se define como la capacidad de un objeto para radiar energía infrarroja. Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura, se conoce como cuerpo negro. De manera que las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente; generalmente las superficies rugosas absorben más calor que las superficies brillantes o pulidas y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mayor radiación también son buenos emisores, por el contrario las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores [11]. Los valores de emisividad difieren de un material a otro y esta puede determinarse según la **ecuación 2.3**

$$\varepsilon = \frac{\text{Radiacion objeto } (t_0)}{\text{Radiacion de cuerpo negro } (t_0)} \quad (2.3)$$

Tabla 2 Valores de emisividad de referencia para algunos materiales [13].

MATERIAL	EMISIVIDAD (ϵ)
Cuerpo negro	1
Piel Humana	0,98
Agua	0,98
Cerámica	0,95
Cemento	0,95
Tejido	0,95
Papel	0,95
Cobre (Oxidado)	0,68
Acero inoxidable	0,1
Cobre (Pulido)	0,02
Aluminio Pulido	0,05

2.2.3 Ley de Stefan-Boltzmann

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la potencia de la radiación emitida por un cuerpo negro ideal está dada por la siguiente ecuación:

$$P(T) = A\epsilon\sigma T^4 \quad (2.4)$$

Donde **A** corresponde es el área superficial del objeto que emite radiación, σ es la constante de Stefan-Boltzmann que posee un valor numérico de $5,6704 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ y ϵ se define como la emisividad de la fuente térmica. Además, tenemos que la energía térmica de la materia $E(T)$ está definida como se presenta en la **ecuación 2.5**:

$$E(T) = \frac{P(T)}{A} = \epsilon\sigma T^4 \quad (2.5)$$

Radiación de cuerpo negro de Wien

En 1893 Wilhelm Wien demostró mediante supuestos termodinámicos su ley de desplazamiento, que especifica que hay una relación inversa entre la longitud de onda en que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura absoluta como se muestra en la **ecuación 2.6**

$$\lambda_{max} * T = b \quad (2.6)$$

Donde ($b=0,0028976 \text{ m.K}$) se conoce como la constante de Wien.

2.3 Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica de medición la cual no necesita contacto con el objeto medido y está clasificada dentro de los ensayos no destructivos (END).

Principio de funcionamiento

Todo cuerpo emite cierta cantidad de energía electromagnética, esta energía está relacionada con la temperatura como lo muestra la **ecuación 2.5**. Una cámara termográfica puede determinar la temperatura sin contacto físico con el objeto, midiendo la energía emitida mediante el uso de arreglos bidimensionales de sensores sensibles a dicha energía, obteniendo los denominados termogramas que son representaciones de la distribución espacial de las temperaturas detectadas a la radiación emitida. La termografía infrarroja puede ser aplicada en cualquier situación donde el problema o condición se evidencie a partir del análisis térmico. Algunas de sus aplicaciones actuales son el monitoreo de elementos eléctricos, monitoreo del cambio climático, diagnóstico de cáncer de mama, pruebas de estrés, entre otras [11].

2.4 Determinación de medidas estadísticas

Para el resultado de una medición de una cantidad física son obligatorios algunos indicadores de la calidad del resultado para que quienes lo utilizan puedan evaluar su fiabilidad. Sin tales indicadores los resultados de medición no se pueden comparar, ni entre ellos ni con valores de referencia. Por lo tanto, es necesario que haya una implementación fácil y un procedimiento entendible y generalmente aceptado para caracterizar la calidad de un resultado de una medición; es decir, para evaluar y expresar sus incertidumbres [22].

2.4.1 Cálculo de incertidumbres de medidas directas.

Incetidumbre tipo A

$$\mu_A = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.7)$$

Donde n es el número de datos, x_i es el dato i-ésimo y \bar{x} el promedio de los datos.

Incetidumbre tipo B

➤ Por especificaciones

$$\mu_{B1} = \frac{\textit{Especificaciones}}{\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

➤ Por resolución digital del equipo

$$\mu_{B2} = \frac{\textit{Resolución}}{2\sqrt{3}} \quad (2.9)$$

Incertidumbre combinada

$$\mu_C = \sqrt{\mu_A^2 + \mu_{B1}^2 + \mu_{B2}^2} \quad (2.10)$$

Incertidumbre expandida

También se realiza el cálculo de los grados de libertad (U_{eff}) para poder obtener el factor de cobertura (k) de la t Student y finalmente la incertidumbre expandida (μ_E).

$$U_{eff} = \frac{\mu_C^4}{\frac{\mu_A^4}{n-1}} \quad (2.11)$$

$$\mu_E = k\mu_C \quad (2.12)$$

Por último el valor medido con su respectiva incertidumbre expandida se expresa a continuación:

$$U = x_i \pm \mu_E \quad (2.13)$$

2.4.2 Modelo de consistencia interna (Alfa de Cronbach)

El coeficiente Alfa de Cronbach es un modelo de fiabilidad, basado en el promedio de las correlaciones entre los ítems. Entre las ventajas de esta medida se encuentra la posibilidad de evaluar cuánto mejoraría (o empeoraría) la fiabilidad de la prueba si se excluyera un determinado ítem. El alfa de Cronbach puede calcularse de dos formas: a partir de las varianzas (Alfa de Cronbach) o de las correlaciones de los ítems (Alfa de Cronbach estandarizado)

➤ Alfa de Cronbach a partir de las varianzas

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (2.14)$$

Donde S_i^2 Es la varianza del ítem i, S_t^2 es la varianza de los valores totales observados y k es el número de preguntas.

➤ Alfa de Cronbach estandarizado

$$\alpha_{est} = \frac{k_p}{1 + p(k-1)} \quad (2.15)$$

Donde k es el número de ítems y p es el promedio de las correlaciones entre cada uno de los ítems.

La interpretación de la fiabilidad del alfa de Cronbach se muestra en la *Tabla 3*

Tabla 3 Criterios de interpretación del alfa de Cronbach [23]

Valores de α	Interpretación
0,90-1,00	Fiabilidad satisfactoria
0,80-0,89	Fiabilidad adecuada
0,70-0,79	Fiabilidad moderada
0,60-0,69	Fiabilidad baja
0,50-0,59	Fiabilidad muy baja
<0,50	Fiabilidad no confiable

2.4.3 Correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

Si se tienen dos variables aleatorias X, Y sobre una población; el coeficiente de correlación de Pearson se simboliza con la letra $\rho_{X,Y}$ siendo la **ecuación 2.16** la expresión que nos permite calcularlo:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2.16)$$

Donde σ_{XY} es la covarianza de (X, Y), σ_X es la desviación estándar de X y σ_Y es la desviación estándar de Y.

2.4.4 Curvas ROC

El análisis de curvas ROC (Receiver Operating Characteristic Curve) constituye un método estadístico para determinar la exactitud diagnóstica de diferentes test. Son utilizadas con tres propósitos específicos: determinar el punto de corte de una escala continua en el que se alcanza la sensibilidad y especificidad más alta, evaluar la capacidad discriminativa del test diagnóstico, es decir, su capacidad de diferenciar sujetos sanos versus enfermos, y comparar la capacidad discriminativa de dos o más test diagnósticos que expresan sus resultados como escalas continuas. La interpretación de las curvas ROC se muestra en la *figura 3* en donde el valor del área bajo la curva (AUC) define el criterio discriminante de la prueba de escoger una persona enferma o sana al azar [23].

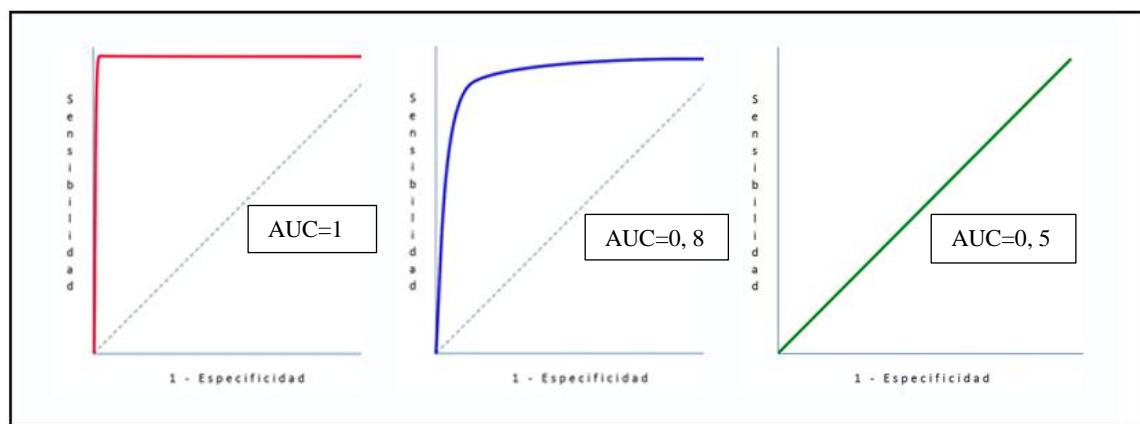


Fig. 3 Curvas ROC (1) AUC=1 que se define como un diagnóstico perfecto, (2) AUC=0,8 diagnóstico aceptable, (3) AUC=0,5 Sin valor diagnóstico

2.5 Antecedentes bibliográficos

Hoy en día, en el campo de investigación científica se le apuesta a crear mecanismos de diagnóstico clínico no invasivos y amables con el medio ambiente. Una de las soluciones que ha tenido mejor acogida es el mejoramiento de los instrumentos diagnósticos empleados en los diferentes centros de atención médica, esto con el fin de disminuir el grado de riesgo del personal y los rasgos perjudiciales para el paciente.

Actualmente en psicología clínica se han venido empleando métodos de diagnóstico basados en el uso de instrumentación biomédicos como los Electrocardiogramas (ECG), Encefalogramas (EEG) o medición de la saturación de oxígeno frente a un determinado estado psicológico, por

ejemplo el estado de ansiedad. Este estado ha sido estudiado por diferentes investigadores a lo largo de los últimos años, empleando técnicas como las anteriormente mencionadas [3]. La ansiedad que se define como un proceso psico-biológico considera entre sus mecanismos de diagnóstico la evaluación de respuestas fisiológicas como la tasa cardíaca, la actividad electromiográfica y la actividad electrotérmica. Lo que sugiere la necesidad de un mecanismo de diagnóstico de aprovechamiento de estas variables.

La medición de la variable térmica como evaluación a la ansiedad puede ser implementada a partir de procedimientos que permitan registrar los valores de temperatura emitidos por la piel. Según C.Guerrero *et al.*, la termografía es la técnica más eficiente para el estudio de la distribución de temperatura en la piel. Esta técnica proporciona información sobre el funcionamiento normal o anormal del sistema nervioso sensorial y simpático, disfunción vascular, trauma miofacial y procesos inflamatorios locales [14]. Se basa en el aprovechamiento de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos y que puede interpretarse como valores de temperatura en un termograma. Los termogramas son imágenes que muestran un mapeo térmico por cada pixel que forma la imagen, de manera que pueden ser usados para detectar desde cambios de temperatura en un tiempo determinado hasta zonas de interés en el termograma, partiendo del procesamiento de imágenes adecuado. La gran ventaja del uso de sensores infrarrojos como método diagnóstico es que no son instrumentos que requieran ningún tipo de contacto, ni de emisión de radiación sobre el cuerpo; por ende, es una técnica que cuenta con el privilegio de no ser invasiva o perjudicial para las personas, y para el medio ambiente. Sin embargo se consideran como desventajas el costo elevado de los equipos, la necesidad de controlar las condiciones ambientales de manera exhaustiva debido a las radiaciones externas que pueden alterar el resultado medido y la necesidad de aclimatación de la piel en algunos estudios realizados en personas.

Dentro del documento de investigación de A. Moliné *et al.*, se desarrolló una metodología con el fin de aplicar la termografía infrarroja a la neuropsicología cognitiva [1]. Esta metodología consistió en diferentes pruebas psicológicas sobre 20 estudiantes universitarios usando la técnica de termografía infrarroja para encontrar correlaciones significativas entre los cambios de temperatura facial y estados mentales. Estas pruebas fueron realizadas a una temperatura ambiente de 22°C y se estableció un tiempo de aclimatación para los participantes entre 10 y 15 minutos. Para la prueba de ansiedad y fobias se hizo uso de estímulos como imágenes de insectos, cadáveres y arañas; además, fue implementado el inventario de ansiedad de estado-rasgo (STAI) Spielberger. Entre los resultados obtenidos se puede destacar que las puntuaciones de ansiedad de estado fueron del 50% en la mayoría de los participantes, excepto en cinco de ellos quienes obtuvieron un 75%. Los participantes con fobia tuvieron un aumento promedio significativo de la temperatura nasal respecto a la temperatura local. La temperatura de sus manos y el área orofacial (Región anatómica relacionada con la boca, cuello y cara) también se incrementó mientras que la temperatura de la frente aumentaba o seguía siendo constante, según lo observado en el 50% de los participantes con alguna fobia. El aumento promedio de la

temperatura facial fue de 3,7 °C ($\sigma = 1,6$). El aumento de la temperatura debido a fobias fue significativamente mayor que el aumento de la temperatura debido a altos niveles de ansiedad ($t = 2,73, p < 0,05$)

Con base en lo anterior se analizó otro trabajo relacionado con el estudio de las manos frías o fenómeno de Raynaud de I. Chlebicka *et al.*, donde se estableció un modelo termográfico en 74 individuos entre quienes se encontraban individuos con manos sanas y pacientes del síndrome de las manos frías [15]. Los resultados obtenidos sugieren cambios de temperatura de aproximadamente 0,5°C de diferencia entre la mano izquierda y la mano derecha en un 30% de los individuos del estudio y de más de 1°C en personas con el síndrome. Según I. Chlebicka el uso de cámaras termográficas puede servir como dispositivos objetivos para la evaluación del grado de enfriamiento de los dedos y la distinción entre pacientes.

Para V. Engert *et al.*, en su trabajo “Exploring the Use of Thermal Infrared Imaging in Human Stress Research”, [8] los aspectos psicológicos causan cambios de temperatura en la piel que pueden ser detectados con cámaras infrarrojas y que en comparación con otros marcadores para el estrés como el ritmo cardíaco y el cortisol, cuenta con la gran ventaja de no ser un proceso de diagnóstico invasivo. Es en este punto donde se resalta que existen diferentes métodos para el diagnóstico de ansiedad usando métodos no convencionales; sin embargo es importante buscar el método más adecuado que permita la obtención de información sin causar otros efectos secundarios.

Como se mencionó en la **sección 2.2.2** la ansiedad puede ser diagnosticada a partir de diferentes mecanismos. Dentro de los más usados podemos encontrar el uso de escalas, cuestionarios o inventarios como el usado en el trabajo de A. Moliné *et al.* Teniendo en cuenta lo anterior es de nuestro interés el trabajo de S. De la Ossa *et al.*, “Estudio de la consistencia interna y estructura factorial de tres versiones de la escala de Zung para ansiedad” [5] realizado en una universidad privada de Cartagena, Colombia en doscientos veintiún estudiantes de psicología y medicina con edad promedio de 20,5 ($\sigma = 2,6$) quienes obtuvieron dentro de sus resultados un alfa Cronbach de 0,77 y tres factores principales responsables de 40,1% de la varianza total para la prueba de Zung de 20 puntos para el diagnóstico de ansiedad, mostrando una aceptable consistencia interna.

En general, los autores y las literaturas revisadas, proporcionan al trabajo los fundamentos teóricos y prácticos requeridos para la aplicación de pruebas termográficas como diagnóstico de la ansiedad, así como una serie de datos técnicos de acondicionamiento térmico del espacio. Cabe resaltar que gran parte de las referencias involucradas en este trabajo se centran en la importancia del procedimiento, la búsqueda de biomarcadores térmicos y el diseño metodológico, lo que influye en el planteamiento de esta investigación. Con esta información se redactó y desarrollo una estrategia de diseño y aplicación de un protocolo para la adquisición y procesamiento de imágenes infrarrojas relacionadas con la ansiedad académica usando la técnica de termografía infrarroja.

3. Metodología experimental

Este proyecto de grado se dividió en diferentes etapas, cuyo proceso experimental y ejecución siguieron una serie de pasos que correspondieron al desarrollo de los objetivos específicos. El esquema metodológico llevado a cabo en esta investigación se presenta a continuación:

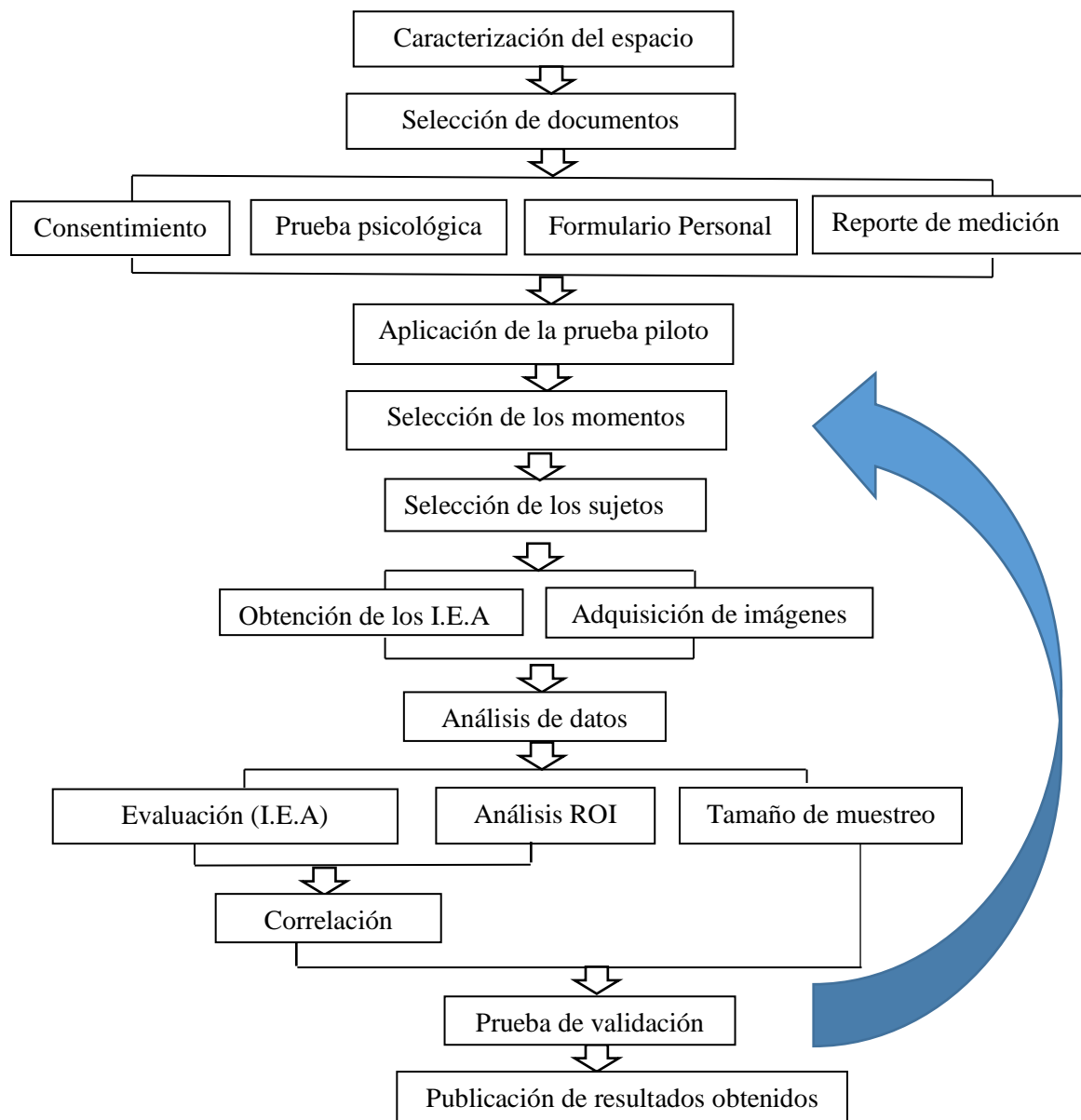


Fig. 4 Esquema metodológico de la investigación en donde se muestran las diferentes etapas de desarrollo.

3.1 Caracterización ambiental del espacio

Uno de los factores más importantes al aplicar la técnica de termografía infrarroja en investigación, es el debido control de las condiciones ambientales como lo son la humedad y la temperatura ambiente. Por tal razón, con el fin de establecer un protocolo para la adquisición de imágenes térmicas, se realizó una caracterización ambiental del espacio 1A-125 de la Universidad Tecnológica de Pereira en un periodo de siete horas continuas comprendidas desde las 8:00 A.m. hasta las 3:00 P.m. en las que se registraron los valores de humedad y temperatura dentro y fuera del espacio. Según *E. López* la temperatura ideal esta entre 18 °C y 25 °C con variaciones no mayores a 1 °C al momento de la realización de la prueba. Con respecto a la humedad del espacio se recomienda valores que rondan el 50 % [4].

3.1.1 Descripción del espacio

El espacio 1A-125 hace parte de los complejos investigativos del bloque 1 de la Universidad Tecnológica de Pereira, conocido como el Grupo de investigación en propiedades magnéticas y magnetoópticas de nuevos materiales (GIMM). Este laboratorio cuenta con un área total de 28,74 m² y está construido con vigas de concreto y paredes de superboard. En la *Figura 5* se presenta el plano del lugar con la distribución de los instrumentos que se encontraban en el laboratorio, los cuales no fueron retirados a la hora de realizar las mediciones de temperatura y humedad.

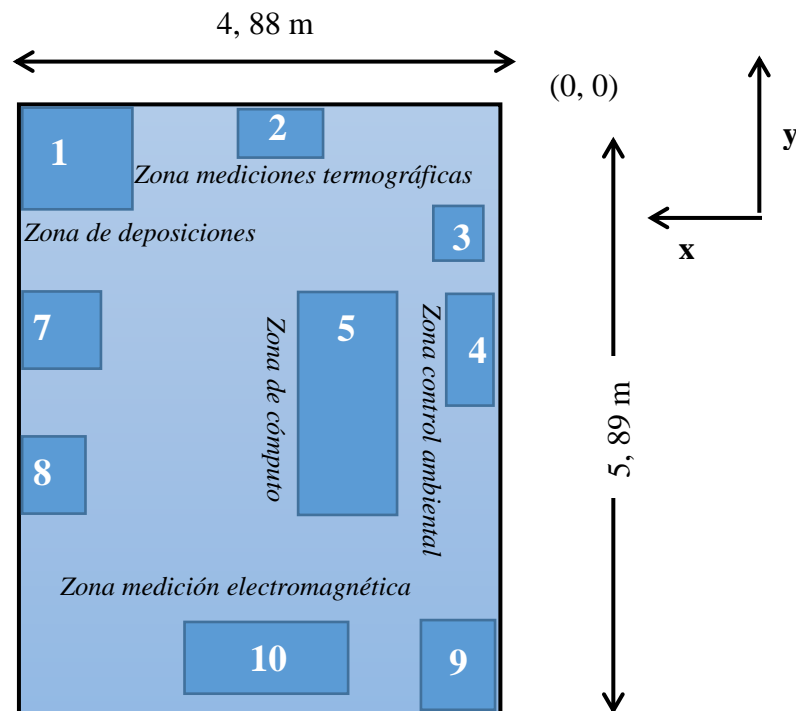


Fig. 5 Plano del espacio 1A-125 de la Universidad Tecnológica de Pereira. (1) CVDAA, (2) Cámara FLUKE TI300, (3) Deshumidificador, (4) Aire acondicionado, (5) (6) (7) Computadores de mesa (8) Espectrofotómetro, (9) Cabina de extracción de gas (10) Electroimán

3.1.2 Descripción zona de mediciones termográficas

La zona de mediciones termográficas consistió en un espacio con un área de $2,40 \text{ m}^2$, el cual se dispuso para la adquisición de las imágenes térmicas usando la cámara FLUKE TI300. La distribución espacial de este espacio se muestra en la *figura 6*.

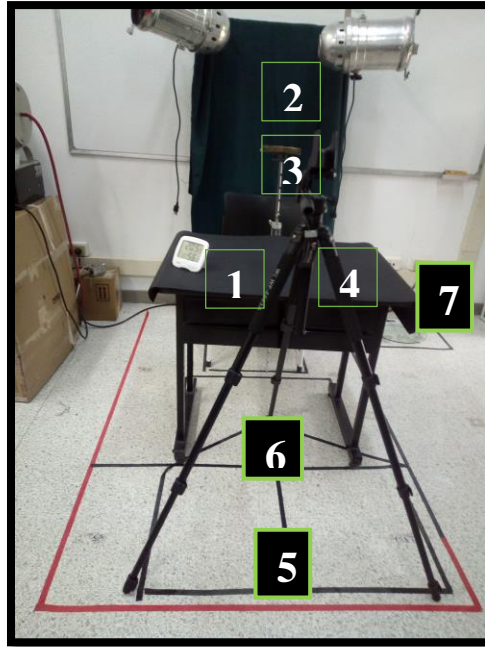


Fig. 6 Plano de la zona de mediciones termográficas. (1) Mesa de soporte $0,48 \text{ m}^2$, (2) Fondo oscuro, (3) Soporte para la cabeza ubicada a $0,37 \text{ m}$ de la mesa, (4) Trípode para la ubicación de la cámara ubicado en un área de $0,66 \text{ m}^2$ y con una altura de $1,36 \text{ m}$, (5) Ancho de las patas traseras del trípode $0,87 \text{ m}$, (6) Distancia de las patas traseras a la pata frontal del trípode $0,76 \text{ m}$, (7) Espacio para balanza digital.

3.1.3 Descripción de la caracterización ambiental del espacio

Para la caracterización del espacio se establecieron los valores de control ambiental de los instrumentos a continuación mencionados. Fue puesto en funcionamiento un aire acondicionado a una temperatura de $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y se encendió un deshumidificador Whirlpool modelo #AD70USS1 con ventilador en AUTO y humedad deseada NORMAL, a las 8:00 A.m. Se emplearon como dispositivos para la medición una cámara termográfica FLUKE TI300 y un termohigrómetro HTC-303A. En la *Tabla 4* se muestran las especificaciones técnicas de los equipos usados. Los dispositivos de control (aire acondicionado y deshumidificador) y de medición de temperatura y humedad (Cámara FLUKE TI300 y termohigrómetro) anteriormente mencionados fueron ubicados como se indica en la *Figura 7*. Con la cámara ubicada dentro del recinto cerrado se tomaron los datos de temperatura mínima, máxima y promedio registrados por el sensor y por el termohigrómetro cada 15 minutos hasta completar un lapso total de muestreo de 7 horas continuas. Pasados 5 minutos de la adquisición de datos dentro del recinto se expuso el termohigrómetro a las condiciones ambientales fuera del laboratorio, esto dando lugar a la aclimatación del instrumento. Posteriormente, pasados otros cinco minutos se registraron los

datos de humedad relativa y temperatura ambiental fuera del laboratorio con el termohigrómetro, y se registraron estos mismos valores otorgados por la página web Worldmeteo.

Tabla 4 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en la caracterización térmica.

EQUIPO	MODELO	SENSIBILIDAD	ESPECIFICACIONES
Cámara termográfica	Fluke TI 300	< 0,05 °C a 30°C	2%
Termohigrómetro	HTC-303 ^a	--	Temperatura: 1 °C Humedad: 1 %
Deshumidificador	Whirlpool modelo #AD70USS1	--	--
Aire acondicionado	Marca LG - VM242C7	--	1 °C

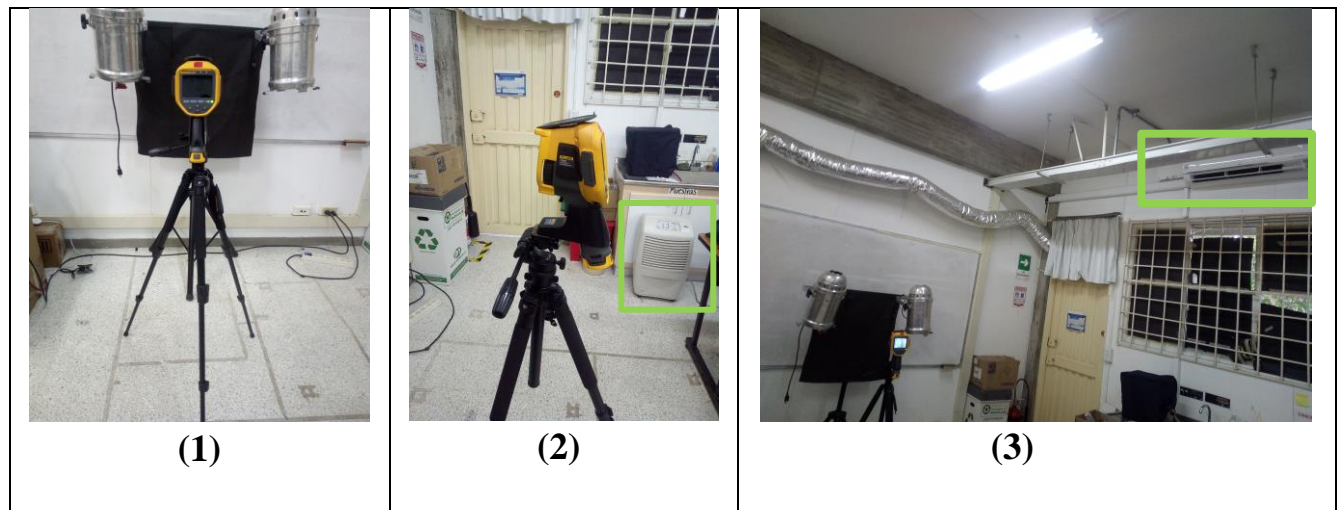


Fig. 7 (1) Ubicación de la cámara para la caracterización, (2) Ubicación del deshumidificador, (3) Ubicación del aire acondicionado.

3.2 Selección de documentos

Los protocolos especificados a continuación hacen parte de una serie de documentos empleados durante la aplicación de las diferentes pruebas realizadas. Cabe resaltar que en su gran mayoría fueron diseñados y adaptados conforme la necesidad de cada prueba y podrán ser revisados como

documentos anexos en este trabajo de grado.

3.2.1 Consentimiento informado.

Este documento consistió en un informe parcial donde se expuso el propósito, procedimiento y relevancia de la prueba a realizar. En este documento se destacaron condiciones como el no tener ningún cuadro gripal o fiebre para poder participar de la prueba, además se les informo a los participantes de los riesgos a los que estaban expuestos y el destino final de la información recolectada. En la parte final del documento se encontraba el asentimiento del participante y su compromiso a colaborar con cada procedimiento en el que fuese necesario hasta finalizar el trabajo. Se resalta que este documento fue el primero en ser socializado en la prueba.

En primera instancia para la prueba piloto se diseñó un formato para el consentimiento informado, el cual fue modificado por el documento sugerido por Comité de Bioética de la Universidad Tecnológica de Pereira en la prueba de validación. *Anexo 1*

3.2.2 Prueba psicológica

El autoinforme psicológico seleccionado para las pruebas desarrolladas en este trabajo, fue la escala de autoevaluación de 20 puntos Zung para la ansiedad. Esta escala fue descrita con detalle en el marco teórico en la **sección 2.1** donde se expuso la información técnica y el método matemático de obtención de los índices de ansiedad (I.E.A.) y su respectiva equivalencia clínica.

Tanto en la prueba piloto como en la prueba de validación, los participantes fueron expuestos a la escala antes de la adquisición de las imágenes termográficas, sin aplicar ningún estímulo fuera de los causados por la exposición académica. Hay que mencionar que, con el fin de poder usar este autoinforme como mecanismo de correlación, se realizó la aplicación del mismo en los dos momentos definidos para ambas pruebas.

3.2.3 Formulario personal

Este documento fue diseñado con el fin de obtener información extra del contexto personal y académico de los participantes; corroborando así que la información obtenida al aplicar las diferentes pruebas pudiesen estar sustentados con base en el estado contextualizado de cada uno de los participantes. Razón por la cual, este formulario fue modificado conforme era necesaria información del estado en cada momento. Este documento fue subdividido en tres partes. Una primera sección en donde se registró información referente a la identificación de cada sujeto; como edad, estatura, y correo electrónico. Una segunda sección en donde se registró información del contexto académico como; promedio académico, semestre actual, cantidad de materias vistas, entre otras. En la última parte se registraron una serie de preguntas que hacían referencia a estímulos que pudiesen estimular o no la condición de cada estudiante. La aplicación de este formulario fue realizada en los dos momentos estipulados. Este documento puede identificarse en este trabajo como el *anexo 2*.

3.2.4 Protocolo de reporte de medición de cada ensayo

Es importante para la aplicación de cada prueba un formulario donde se puedan registrar las mediciones realizadas y los datos de control ambiental al momento de adquirir las imágenes. El protocolo de reporte de medición de cada ensayo es un documento que permitió la obtención de información de los parámetros anteriormente mencionados. Este reporte se dividió en dos partes: En la primera se registró información de medidas de temperatura corporal y peso del participante, estas medidas fueron realizadas dentro del laboratorio y se empleó el uso de un termómetro digital marca Doctor Instruments y de una báscula digital Health DUPREE. Estos instrumentos se muestran en la *figura 8*. La segunda parte de este documento consistió en el registro de los parámetros especificados en la cámara como la emisividad equivalente a 0,98 en el caso de la piel y la temperatura de segundo plano registrada por el termohigrómetro. Además se registraron los valores de temperatura ambiental y humedad relativa antes y después de tomar las imágenes. Este documento puede visualizarse en el *anexo 3*.

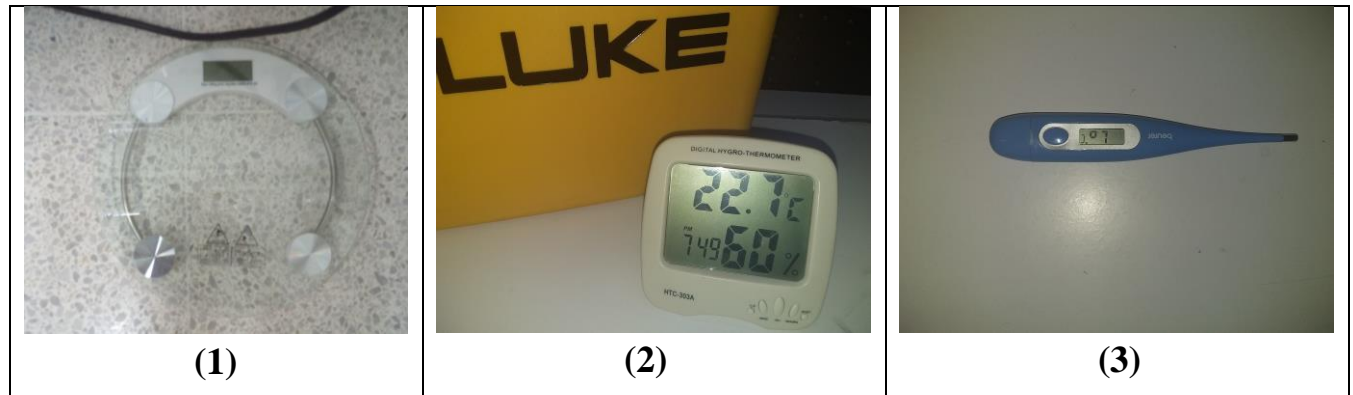


Fig. 8 (1) Báscula digital Health Dupree, (2) Termohigrómetro, (3) termómetro de contacto Doctor Instruments.

3.3 Aplicación de la prueba piloto.

Esta prueba piloto hizo parte del primer ensayo de aplicabilidad de la termografía infrarroja como diagnóstico de ansiedad académica en la Universidad Tecnológica de Pereira. Esta, fue realizada en el año 2017 con el fin de construir un protocolo para determinar el estado de ansiedad académica en los estudiantes universitarios partiendo de otras investigaciones en las que se hizo uso de esta técnica como diagnóstico de procesos psicológicos. Los resultados de esta prueba piloto serán discutidos en el capítulo siguiente.

3.3.1 Selección de los momentos

Esta prueba consistió en un proceso observacional del estado ansioso a partir del análisis térmico de zonas de interés (ROI'S) de nueve estudiantes de ingeniería física en dos momentos

determinados mencionados a continuación.

Momento I: El momento uno para la prueba piloto consistió en la semana de exámenes finales del primer semestre académico del año 2017 para los estudiantes de Ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira (*Primera semana de Junio*). En ese momento fue aplicado el siguiente procedimiento: (1) Llenar el consentimiento informado, (2) llenar el formulario personal, (3) Responder la encuesta psicológica realizada mediante autoevaluación, (4) adquisición de medida de peso y temperatura corporal, (5) Sometimiento a un tiempo de aclimatación de 10 minutos sin contacto con objetos y las manos semiabiertas con las palmas hacia arriba (6) Registro de temperatura ambiente y humedad relativa iniciales y ajuste de parámetros de la cámara (7) Adquisición de las imágenes con la luz encendida (8) adquisición de las imágenes con la luz apagada (9) Registro de temperatura ambiental y humedad relativa final.

Momento II: El momento dos correspondió al inicio del segundo semestre académico del año 2017 (*Segunda semana de agosto*). Los sujetos que presentaron esta prueba fueron los mismos seleccionados en el momento uno, en donde el procedimiento de aplicación de la prueba fue el mismo anteriormente mencionado. Cabe resaltar que el formulario personal usado para este segundo momento fue modificado ya que se necesitaba saber información de las actividades realizadas en el periodo de vacaciones, y determinar si estas afectaban de alguna manera el estado ansioso de los participantes.

3.3.2 Selección de los sujetos

Esta prueba se aplicó en un grupo de nueve estudiantes de Ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira. Hombres con una edad promedio de 22,8 años ($\sigma=3,3$) e índice de masa corporal promedio de 25,43 ($\sigma=4,01$) en el primer momento y de 25,22 ($\sigma=4,43$) en el segundo momento. Estudiantes que cursaban entre quinto y décimo semestre, con un promedio de 6 semestres ($\sigma=1,5$). Para esta prueba fueron seleccionados solamente hombres; esto debido a que algunas imágenes fueron tomadas en la zona torácica y requerían no tener la prenda superior puesta, lo cual podría alterar el estado ansioso en el caso de las mujeres. Los estudiantes que decidieron participar firmaron un consentimiento informado a la hora de la aplicación de la prueba piloto. Fueron además determinados los criterios de exclusión para esta prueba: no usar gafas durante las tomas termográficas, estar libre de cualquier enfermedad que pudiera causar cambios en la temperatura del cuerpo y no usar joyas en la nariz o manos al momento de la adquisición de las imágenes. Esta prueba fue realizada en el espacio 1A-125 En un área de $3,42 m^2$.

3.3.3 Obtención de los índices de evaluación de ansiedad (I.E.A.)

El autoinforme seleccionado para esta prueba fue la escala de ansiedad de Zung; la cual consiste en un cuestionario de 20 preguntas que deben responderse seleccionando una de cuatro opciones posibles (**Siempre, Casi siempre, A veces o Nunca**). Esta encuesta fue impresa en papel y los respectivos índices de ansiedad fueron calculados a mano usando la **ecuación (2.1)**. Fueron adquiridos un total de dieciocho índices de ansiedad del total de los participantes; nueve por cada

momento.

3.3.4 Adquisición de las imágenes termográficas

Para la adquisición de las imágenes fue necesario disponer de un tiempo de aclimatación de diez minutos antes de usar la cámara termográfica. Este tiempo fue suficiente para lograr una adaptación térmica a las condiciones ambientales locales. En el momento de aclimatación les fue sugerido a los participantes mantener las manos semiabiertas y no tener contacto con ningún objeto. Después del momento de aclimatación se ajustaron los valores de emisividad igual a 0,98 y la temperatura de segundo plano la cual tuvo un promedio de $24,6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el primer momento, y de $24,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el segundo momento. Las imágenes fueron tomadas a una distancia de $2,0\text{ m} \pm 0,1\text{ m}$ para ambos momentos primero con la luz encendida y después con la luz apagada. Una imagen de la posición del sujeto se muestra en la *figura 9*.

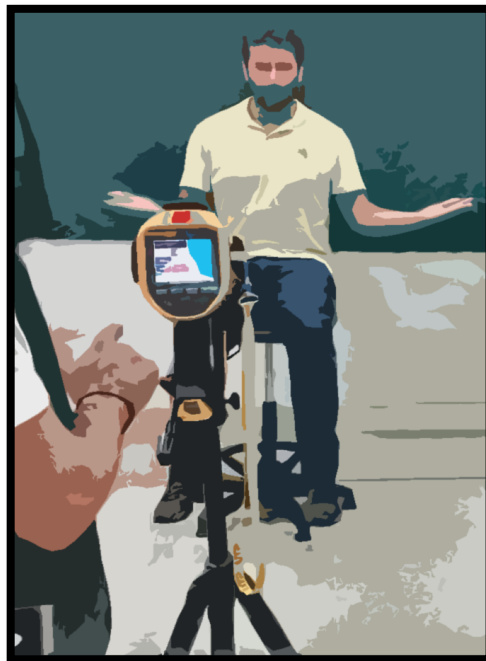


Fig. 9 Posición de la cámara con respecto a uno de los sujetos durante la prueba piloto

Para la prueba piloto fueron adquiridas 72 termogramas en total para los dos momentos, en las posiciones mostradas en la *figura 10*. Cabe mencionar que la posición de las manos seleccionada para esta adquisición fue en dirección frontal a la cámara termográfica como se puede observar en 10 (1). En el **capítulo 4** solo serán discutidos los resultados obtenidos para la posición frontal correspondiente a la región facial.

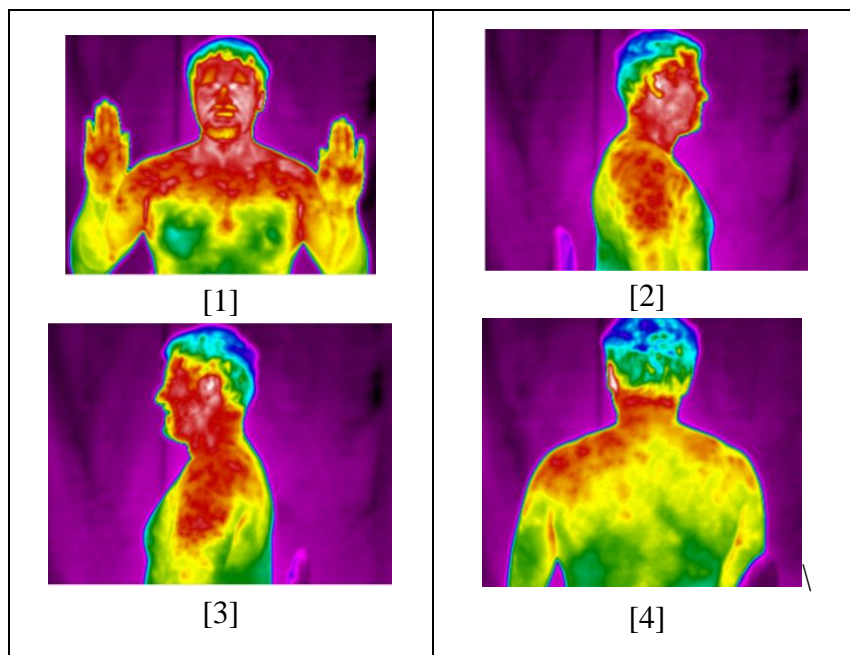


Fig. 10 Posiciones de adquisición de las imágenes de uno de los sujetos con respecto a la cámara durante la prueba piloto (1) Posición frontal, (2) Lateral izquierda, (3) Lateral derecha, (4) Posterior.

3.4 Análisis de los datos

El análisis de los datos obtenidos en esta prueba piloto correspondió a la localización de biomarcadores térmicos para la ansiedad usando la técnica de termografía infrarroja y a la obtención de índices de ansiedad usando la escala de 20 puntos para la ansiedad de Zung. Estos mecanismos fueron correlacionados usando curvas ROC entre los I.E.A. y los biomarcadores térmicos ubicados en el ROI seleccionado. Los ROI'S se determinan como aquellas regiones de interés seleccionadas en el termograma, que en este caso correspondieron a la parte facial de cada estudiante, de modo que las variaciones relativas de contraste para el ROI determinan el área y temperatura promedio del biomarcador.

3.4.1 Índices de ansiedad I.E.A.

En esta prueba fueron obtenidos un total de 18 índices de ansiedad, 9 por cada momento. La escala de ansiedad fue analizada en primera instancia a partir de su consistencia interna usando la prueba de fiabilidad alfa de Cronbach y posteriormente se hallaron las correlaciones de Pearson para cada uno de los ítems como se podrá observar en el **capítulo 4**. Posteriormente, los índices de ansiedad obtenidos en los dos momentos fueron analizados en correlación el biomarcador identificado. Cabe resaltar que el tipo de ansiedad que se pretendió evaluar en este trabajo fue la *ansiedad de estado*, (clasificada como ansiedad NORMAL, como se explicó en el numeral 2.1.1) que según la literatura debería ser alta en circunstancias que sean percibidas por el individuo como amenazantes y baja en situaciones no amenazantes.

3.4.2 Análisis de ROI (Biomarcadores térmicos para la ansiedad)

En esta sección se presenta el mecanismo de detección ROI para los termogramas obtenidos. En el cual se utilizaron técnicas y métodos aplicados a la programación en Matlab para determinar biomarcadores térmicos resultado del contraste del ROI de la imagen facial. Para la detección de ROI y la localización de biomarcadores, se siguió la metodología presentada en el diagrama de la *figura 11*.

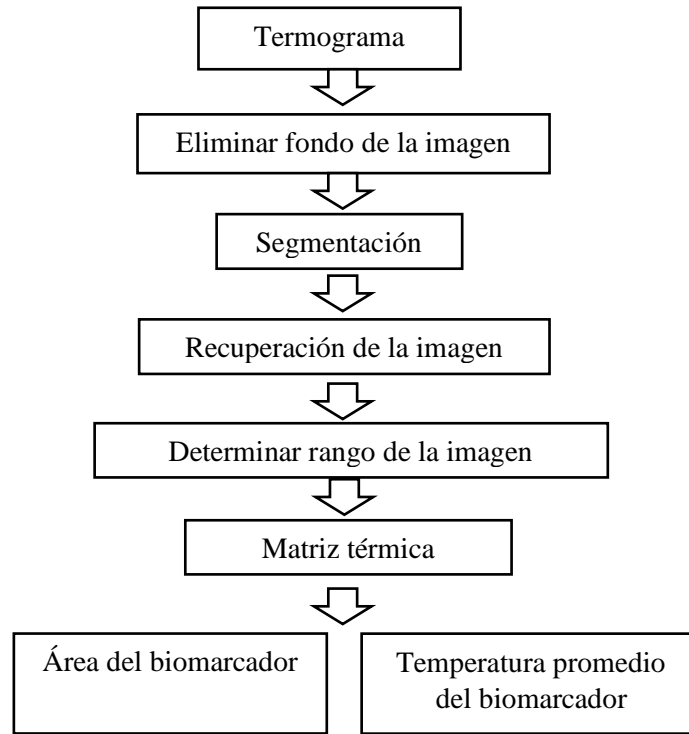


Fig. 11 Metodología para la detección de ROI'S y localización de biomarcadores

Como se muestra en la *figura 11* antes de obtener la matriz térmica son necesarios algunos procedimientos como la eliminación del fondo de la imagen. Para eliminar el fondo de la imagen se creó una máscara de ceros usando **Mask** de Matlab. Posteriormente se procedió a segmentar la imagen con **Activecontour**. La imagen segmentada perdió los valores de temperatura ya que al segmentar la matriz quedo en función de unos y ceros; por lo tanto fue necesario multiplicar la matriz segmentada por la matriz de la imagen original; quedando solamente los valores de temperatura correspondientes a la imagen sin fondo; es decir, meramente la imagen facial de la persona. A continuación fue necesario determinar el rango de la imagen, para ello fueron establecidos los valores de las temperaturas mínima, máxima y promedio (T_{min} , T_{max} , T_{prom}). El rango de la imagen fue definido según la siguiente ecuación:

$$Rango = T_{max} - T_{min} \quad (3.1)$$

La matriz térmica se estableció a partir del valor promedio de la imagen y el porcentaje del rango deseado como se muestra en la **ecuación 3.2** donde se ha seleccionado la matriz térmica obtenida (T_{mt}) a un rango del 10% de la matriz original (I_r)

$$T_{mt} = I_r < T_{prom} - (0,1 * Rango) \quad (3.2)$$

La extracción de los biomarcadores se realizó a partir de operaciones de etiquetado. Las operaciones de etiquetado son importantes ya que permiten localizar componentes conectados en una imagen y se asigna una única etiqueta para todos los píxeles del mismo componente. En Matlab el etiquetado se hizo con la función **bwlabel** la cual permitió almacenar tanto las operaciones de etiquetado como la cantidad de etiquetas. Para el procesamiento final de las imágenes se usaron dos propiedades de la función **Regionprops: BoundingBox** que retorna un rectángulo que encierra el biomarcador y **Área** que retorna el número actual de píxeles de la región.

Para hallar el área dimensional de la región, fue necesario el uso del parámetro IFOV (Resolución espacial) de la cámara. La ecuación que permitió determinar el área del biomarcador se presenta a continuación:

$$A = (D \cdot IFOV)^2 * P \quad (3.3)$$

Siendo A el área del biomarcador, D la distancia cámara-sujeto, $IFOV$ equivalente a 1,75 mrad y P la cantidad de píxeles encerrados dentro del biomarcador.

Para definir el biomarcador térmico relacionado con ansiedad dentro del ROI seleccionado, fue necesario determinar la temperatura promedio del biomarcador localizado. Para ello se sumó la temperatura pixel a pixel dentro del biomarcador y se dividió por el parámetro **Área** del **Regionprops**, el cual contenía la cantidad de píxeles del biomarcador.

Como se mencionó anteriormente en el **capítulo 3.3.4** fueron obtenidos termogramas en la región frontal, lateral derecha, lateral izquierda y en la zona de la espalda para dos momentos académicos determinados para cada sujeto. En este trabajo se consideró solamente la región frontal definiendo la zona facial de la imagen como un ROI en la que se seleccionó la nariz como biomarcador térmico. Teniendo la temperatura de cada biomarcador, se determinó la diferencia térmica entre el termograma del momento I y el termograma del momento II; es decir, la diferencia de estados entre el momento II y el estado crítico del momento I.

$$\Delta_t = T_{II} - T_I \quad (3.4)$$

Donde Δ_t es la diferencia de temperatura entre el momento I y el momento II. La *figura 12* muestra el procesamiento de las imágenes en Matlab.

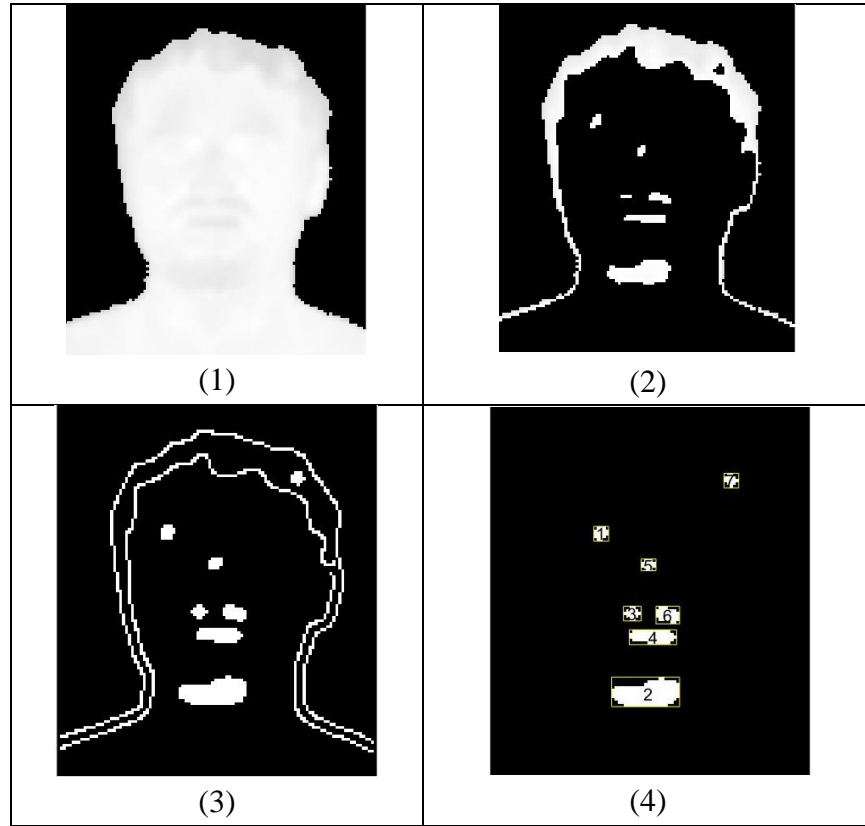


Fig. 12 (1) Imagen sin fondo, segmentada y con los valores de temperatura recuperados, (2) Imagen con aplicación del rango de 10%, (3) Imagen con definición de bordes, (4) Imagen final con etiquetado.

3.4.3. Tamaño de muestreo (Prueba de validación)

Si la variable clave de la población es cuantitativa el tamaño de la muestra mínimo requerido se determina a partir de un procedimiento estadístico de estudios previos. En nuestro caso particular se registraron las desviaciones estándar obtenidas de las imágenes de los sujetos de la prueba piloto. La importancia de este tamaño de muestra radica en que a partir de este dato se puede validar la prueba piloto. El tamaño de una muestra de validación a partir de la imagen térmica se definió utilizando la **ecuación 3.5**

$$n = \left(\frac{k \cdot \sigma}{e} \right)^2 \quad (3.5)$$

Donde k es conocido como el nivel de confianza en este trabajo definido como 1,96 para un intervalo del 95%, σ la desviación estándar de la población y e , el error estándar aceptable de la media, el cual es definido por el criterio del investigador.

Para encontrar la desviación estándar requerida en la **ecuación 3.5** fue necesario trazar la misma cantidad de puntos de temperatura sobre las imágenes. En esta prueba se usó el software Smartview para trazar una matriz rectangular (Marcador) sobre la zona facial de cada imagen y luego exportarlas a Excel para seleccionar 12 puntos igualmente espaciados por fila y columna en matrices de 45x44 provenientes de las imágenes frontales de los nueve sujetos. Después de trazar los puntos se determinó la desviación estándar de dichos puntos para cada imagen y posteriormente se promediaron, obteniendo la desviación estándar σ para la **ecuación 3.5**

3.5 Prueba de validación.

La prueba de validación es uno de los resultados de la prueba piloto, por lo tanto cumple con un protocolo conforme a esta; de manera que en esta sección no se hará una profundización en los aspectos del procedimiento en los cuales la prueba validación cumplió con los mismos aspectos metodológicos de la prueba piloto. Los criterios en los cuales esta prueba defirió de la prueba inicial, serán mencionados brevemente a continuación.

3.5.1 Selección de los momentos

Esta prueba consistió en un proceso de validación de los datos térmicos y psicológicos obtenidos en la prueba piloto. Por lo tanto se distingue por haber sido aplicada en dos momentos al igual que la prueba anteriormente mencionada. Los momentos seleccionados se presentan a continuación:

Momento I: El momento uno para la prueba de validación consistió en la semana de inicio de semestre académico del segundo semestre del año 2019 para los estudiantes de Ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira (*Segunda semana de agosto*).

Momento II: El momento dos correspondió al fin del segundo semestre académico del año 2019 (*Primera semana de diciembre*). Los sujetos que presentaron esta prueba fueron los mismos seleccionados en el momento uno. Cabe resaltar que el formulario personal usado para este segundo momento fue modificado ya que se necesitaba saber información de las actividades realizadas en el periodo de vacaciones, y determinar si estas afectaban de alguna manera el estado ansioso de los participantes

3.5.2 Selección de los sujetos.

Como se mencionó en el punto **3.4.3** la prueba de validación es producto de aplicar la **ecuación 3.5** a las imágenes adquiridas en la prueba piloto. En el segundo semestre del año 2019 se inscribieron al programa de ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira un total de 344 estudiantes, 217 hombres y 127 mujeres. En esta prueba de validación se realizó una convocatoria abierta entre estudiantes de ambos géneros del programa de ingeniería física. En dicha convocatoria fueron seleccionados 30 estudiantes (8,7%) de los estudiantes inscritos en el período anteriormente mencionado, 17 hombres (7,8%) y 13 (10,2%) mujeres. Al sesgar la muestra en 30 sujetos, se definió el error estándar aceptable con el valor de 0,23.

3.5.3 Obtención de los índices de ansiedad

Para la obtención de los índices de ansiedad en la prueba de validación, se diseñó una aplicación en Visual Studio 2010, en la cual se podía responder no solo el test de Zung y el de Hamilton para la ansiedad, sino también el test de Zung para la depresión. La aplicación permitió determinar el índice de ansiedad tanto de manera porcentual como de manera clínica y almacenarlo en conjunto con información de la persona que realizó el test en un documento en Excel. En el formulario del test fue posible encontrar una pestaña de información referente a la prueba aplicada, lo que es importante si se trata de una autoevaluación.

La aplicación del autoinforme de ansiedad en la prueba de validación fue realizada por una profesional del PAI (Programa de acompañamiento integral) De la Universidad Tecnológica de Pereira. Con el fin de poder llevar un proceso de acompañamiento en los casos en los que pudiesen detectarse como un estado ansioso crítico o ansiedad de rasgo con tendencia patológica, en común acuerdo con dichos estudiantes. El procedimiento específico dentro de la aplicación se muestra en la *figura 13*



Fig. 13. (1) Entrar en la interfaz de inicio de la aplicación donde se debe seleccionar la prueba psicológica a utilizar, (2) Responder el formulario del test seleccionado y calcular el I.E.A (3) Guardar la información en el formulario de registro de los participantes.

3.5.4 Adquisición de las imágenes

Las condiciones ambientales del laboratorio fueron definidas con una hora de anticipación de la siguiente manera: Aire acondicionado en 22 °C y deshumidificador en ventilador AUTO y humedad deseada NORMAL, iniciando las pruebas en un intervalo de tiempo que fue establecido desde las 9:00 A.m. hasta las 3:00 P.m. en ambos momentos. Para la adquisición de las imágenes fue necesario disponer de un tiempo de aclimatación de diez minutos en los cuales se les dio algunas instrucciones a los participantes. Al igual que en la prueba piloto les fue sugerido a los estudiantes mantener las manos semiabiertas, esta vez apoyadas sobre una mesa con las palmas boca arriba y no tener contacto con ningún objeto, no tocarse, o rascarse ni antes, ni durante la adquisición de las imágenes termográficas. Después del momento de aclimatación se ajustaron los valores de emisividad igual a 0,98 para el caso de la piel humana y la temperatura de segundo plano registrada con el termohigrómetro. En esta prueba la temperatura de segundo plano tuvo promedio de 21,3 °C \pm 1,6 °C en el primer momento y de 21,7 °C \pm 1,7 °C en el segundo momento. Las imágenes fueron tomadas a una distancia de 0,86 m en los dos momentos con respecto a cada participante y con la luz apagada. Una imagen de la posición del sujeto se muestra en la *figura 14*.

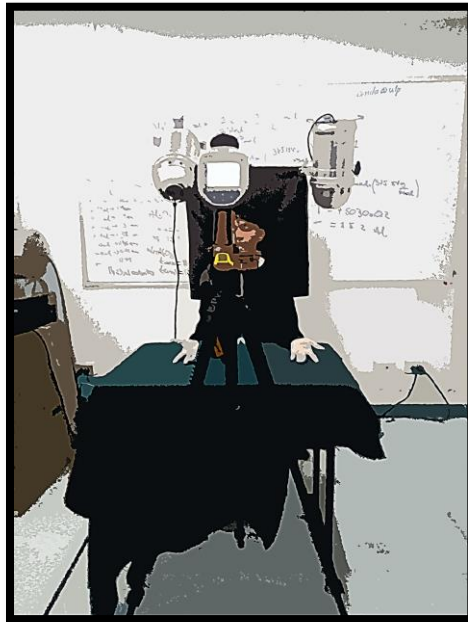


Fig. 14 Posición de la cámara con respecto a uno de los sujetos durante la prueba de validación.

Capítulo 4

4. Resultados

Los resultados expuestos en este capítulo corresponden a cada uno de los experimentos descritos en el capítulo 3.

4.1 Caracterización del espacio

Fueron adquiridos datos de temperatura y humedad dentro y fuera del recinto 1A-125. Los resultados de temperatura y humedad obtenidos fueron caracterizados con un análisis estadístico para calcular la incertidumbre tipo A, tipo B1, tipo B2, combinada y expandida. En la *Tabla 5* se presentan los resultados de temperatura y humedad relativa dentro y fuera del área de estudio, obtenidos con el termohigrómetro HTC-303A para el tiempo total de muestreo.

Tabla 5 Incertidumbre tipo A (μ_A), incertidumbre tipo B1 (μ_{B1}), incertidumbre tipo B2 (μ_{B2}), incertidumbre combinada (μ_C), aplicación del criterio de distribución dominante, número efectivo de grados de libertad (γ_{ef}), factor de cobertura (k_p) e incertidumbre expandida (μ_E).

	Dentro		Fuera	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Promedio	23,0	55,3	23,2	63,0
μ_A	0,0907	0,5432	0,1321	0,5866
μ_{B1}	0,5774	0,5774	0,5774	0,5774
μ_{B2}	0,0289	0,2886	0,0289	0,2886
μ_C	0,5852	0,8437	0,5930	0,8722
Criterio de distribución dominante	0,1649	1,0655	0,2342	1,1003
γ_{ef}	NO APLICA	331,6036	NO APLICA	268,7937
k_p	1,6500	1,9600	1,6500	1,9600
μ_E	1,0	2,0	1,0	2,0

En este caso, los datos muestran que la incertidumbre dominante en la temperatura fue la incertidumbre tipo B1. De modo que al realizar el cálculo del criterio de distribución dominante se observó que todos los valores para la temperatura estuvieron por debajo de 0,3; por lo tanto, fue una distribución rectangular con infinitos grados de libertad, con un factor de cobertura de 1,65 para un nivel de confianza de 95%. Expresamos la temperatura del termohigrómetro como 23,0°C ± 1,0 °C con una humedad de 55,3% ± 2% dentro del recinto, mientras que fuera del recinto se obtuvo una temperatura de 23,2 °C ± 1,0 °C con una humedad de 63,0% ± 2,0%. Las *figuras 15 y 16* muestran el comportamiento de la temperatura y la humedad durante el tiempo total de muestreo.

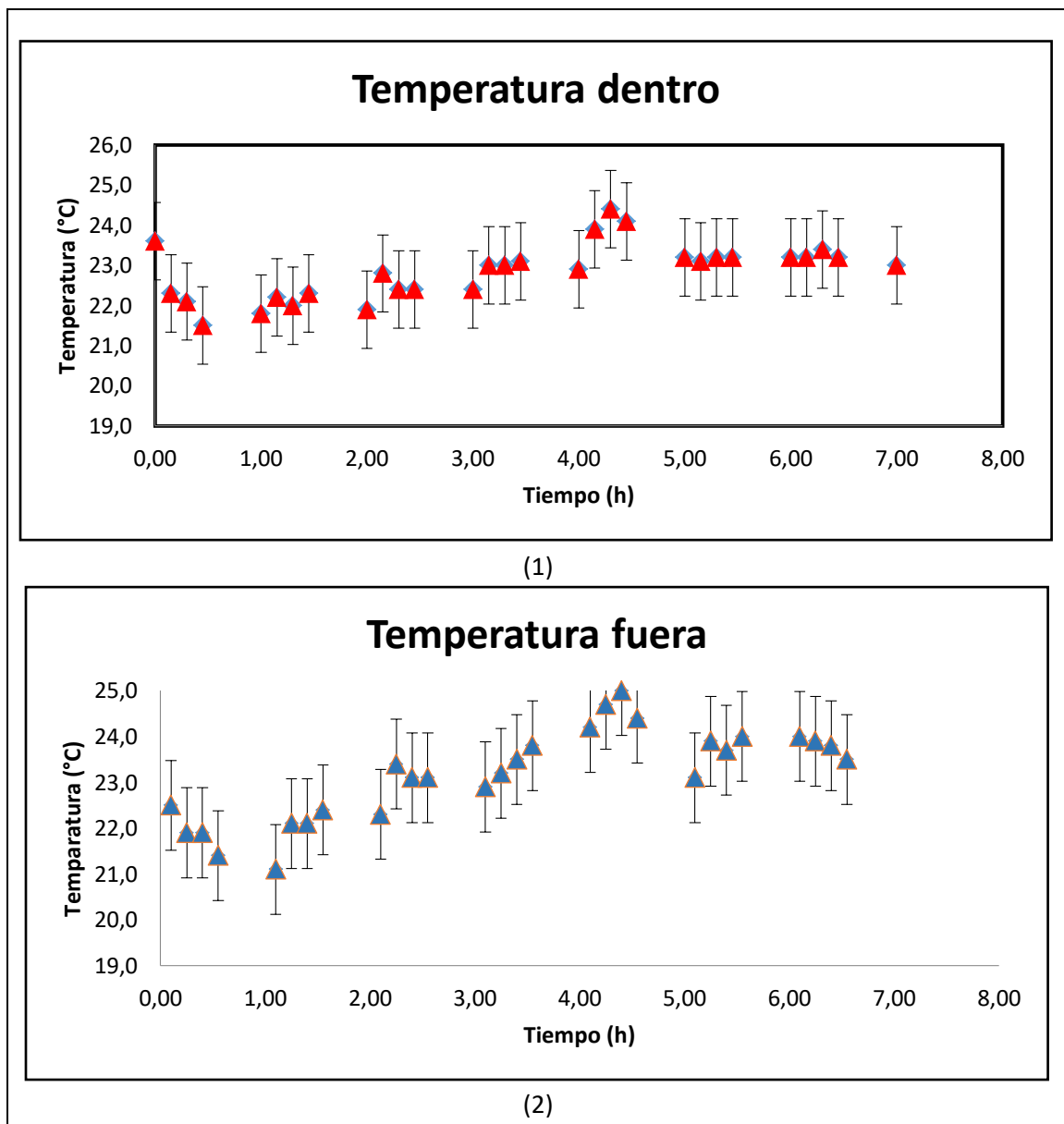
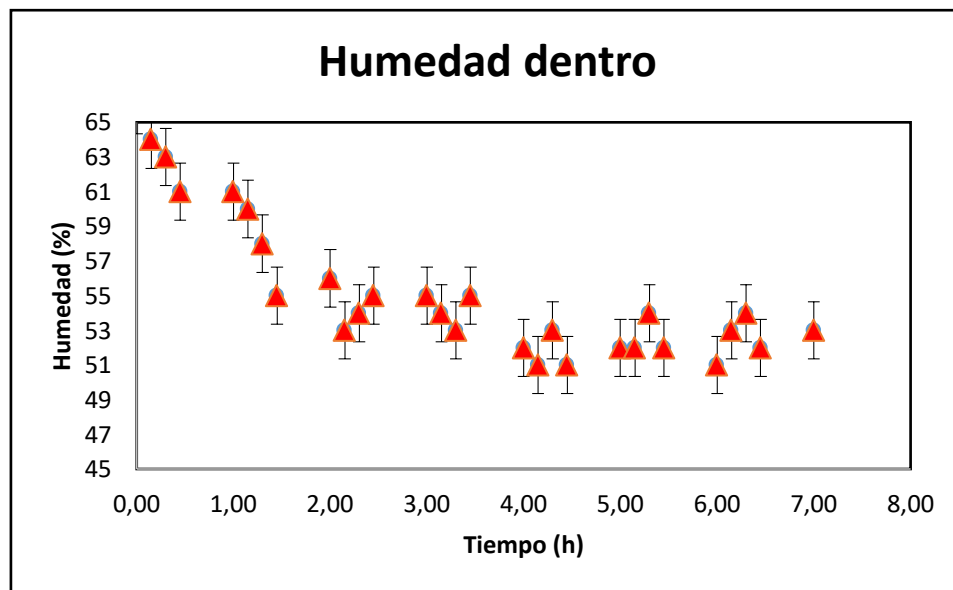
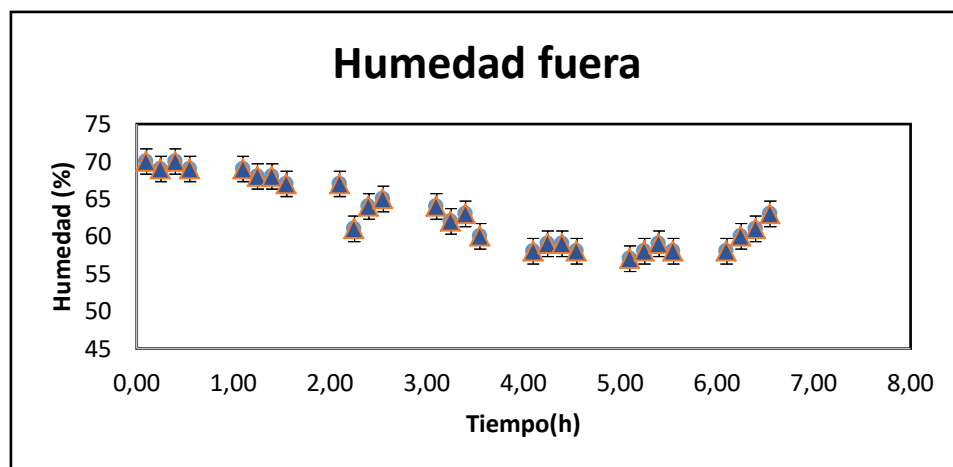


Fig. 15 Temperatura (con sus respectivas barras de incertidumbre) en función del tiempo, (1) Temperatura dentro del recinto (Rojo), (2) Temperatura fuera del recinto (Azul).



(1)



(2)

Fig. 16 Humedad (con sus respectivas barras de incertidumbre) en función del tiempo, (1) Humedad dentro del recinto (Rojo), (2) Humedad fuera del recinto (Azul).

De acuerdo con lo observado en las figuras 15 y 16, se estableció que la estabilización de la temperatura y la humedad se dieron aproximadamente dos horas y media después de iniciada la prueba, esto se evidencia de una manera más clara para el caso de la humedad. Por tal motivo, se decide realizar de nuevo el procedimiento de cálculo de incertidumbres sin tener en cuenta este tiempo. La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos para las incertidumbres dos horas y media después de dar inicio a la prueba.

Tabla 6 Incertidumbre tipo A (μ_A), incertidumbre tipo B1 (μ_{B1}), incertidumbre tipo B2 (μ_{B2}), incertidumbre combinada (μ_C), aplicación del criterio de distribución dominante, número efectivo de grados de libertad (γ_{ef}), factor de cobertura (k_p) e incertidumbre expandida (μ_E).

	Dentro		Fuera	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Promedio	23,2	52,9	23,8	60,3
μ_A	0,0859	0,2165	0,0949	0,4179
μ_{B1}	0,5774	0,5774	0,5774	0,5774
μ_{B2}	0,0289	0,2887	0,0289	0,2887
μ_C	0,5844	0,6808	0,5859	0,7689
Criterio de distribución dominante	0,1570	0,6249	0,1719	1,5449
γ_{ef}	NO APLICA	261,3194	NO APLICA	630,7102
k_p	1,6500	1,9600	1,6500	1,9600
μ_E	1,0	1,0	2,0	2,0

En este caso se observó el mismo comportamiento estadístico que el descrito en la *Tabla 5*. El resultado obtenido para la temperatura dentro del recinto fue de $23,2\text{ °C} \pm 1,0\text{ °C}$ con una humedad de $52,9\% \pm 1\%$, mientras que afuera fue de $23,8\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$ con una humedad de $60,3\% \pm 2\%$. En la *Tabla 7* se presentan los valores obtenidos para la curtosis que es una medida de forma que mide la distribución de las frecuencias. Estas puedan ser de 3 tipos: Leptocúrtica (Curtosis > 0), los datos están concentrados en la media. Mesocúrtica (Curtosis $= 0$), distribución normal. Platicúrtica (Curtosis < 0), que es muy poca concentración de datos en la medida. En el termohigrómetro la temperatura resulta ser adecuadamente Leptocúrtica dentro del recinto con un tiempo de 4,5 horas, pero la humedad es Platicúrtica.

Tabla 7 Curtosis para valores registrados con el termohigrómetro.

			Curtosis	Tipo de curtosis
7 horas	Dentro	Temperatura	-0,3301	Platicúrtica
		Humedad	0,4289	Leptocúrtica
	Fuera	Temperatura	-0,6512	Platicúrtica
		Humedad	-1,4398	Platicúrtica
4,5 horas	Dentro	Temperatura	1,4398	Leptocúrtica
		Humedad	-0,9546	Platicúrtica
	Fuera	Temperatura	-0,0729	Platicúrtica
		Humedad	0,6813	Leptocúrtica

En las *figuras 17 y 18* se puede observar el comportamiento de la distribución de probabilidad de la temperatura y humedad respectivamente en las 7 horas continuas, donde se muestra la evolución de la temperatura dentro del laboratorio la cual cambia de Platicúrtica a Leptocúrtica (Estabilización de la temperatura) con 4,5 horas.

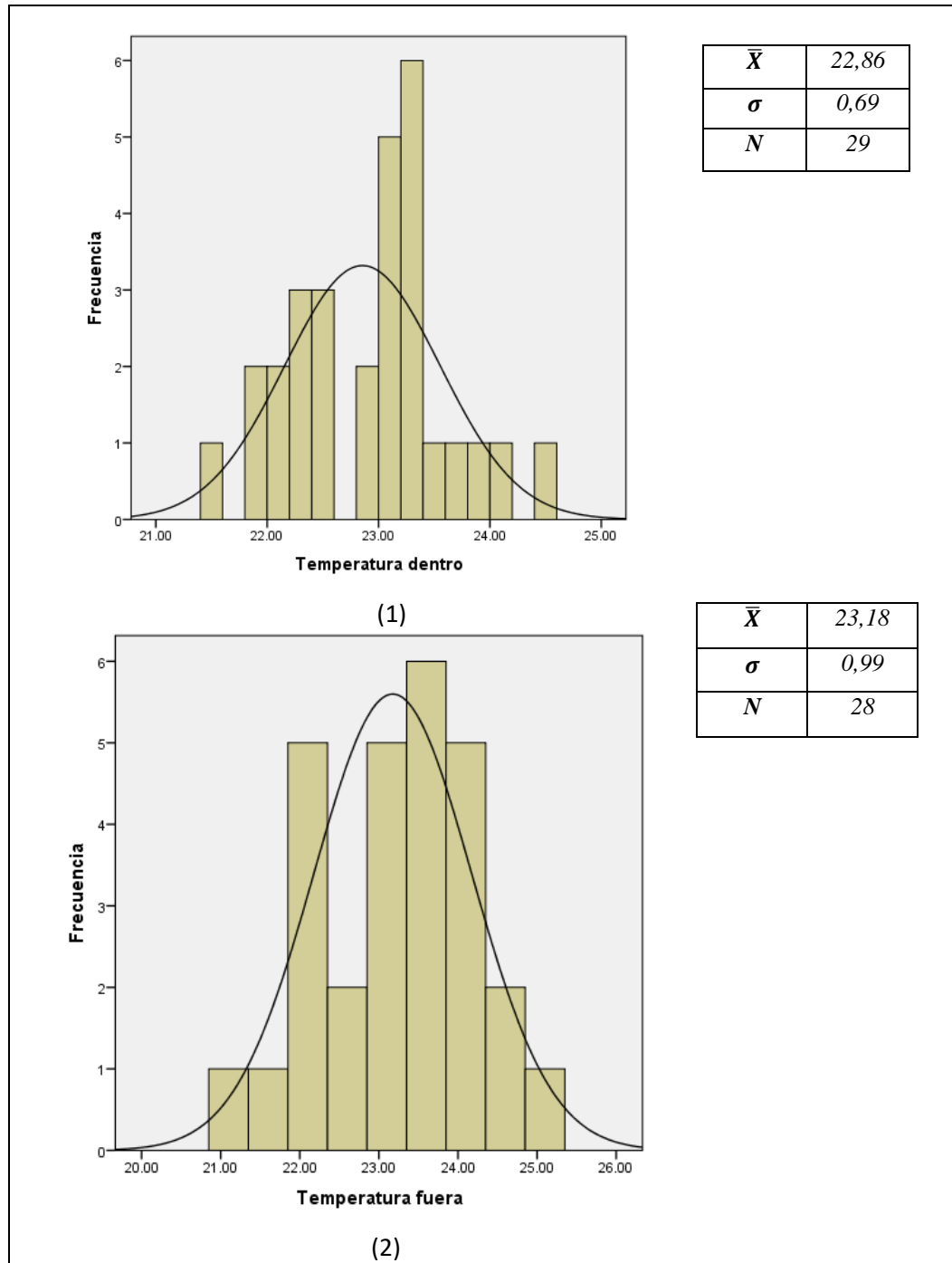


Fig. 17 Distribución de probabilidad para la temperatura. (1) Dentro del recinto, (2) Fuera del recinto

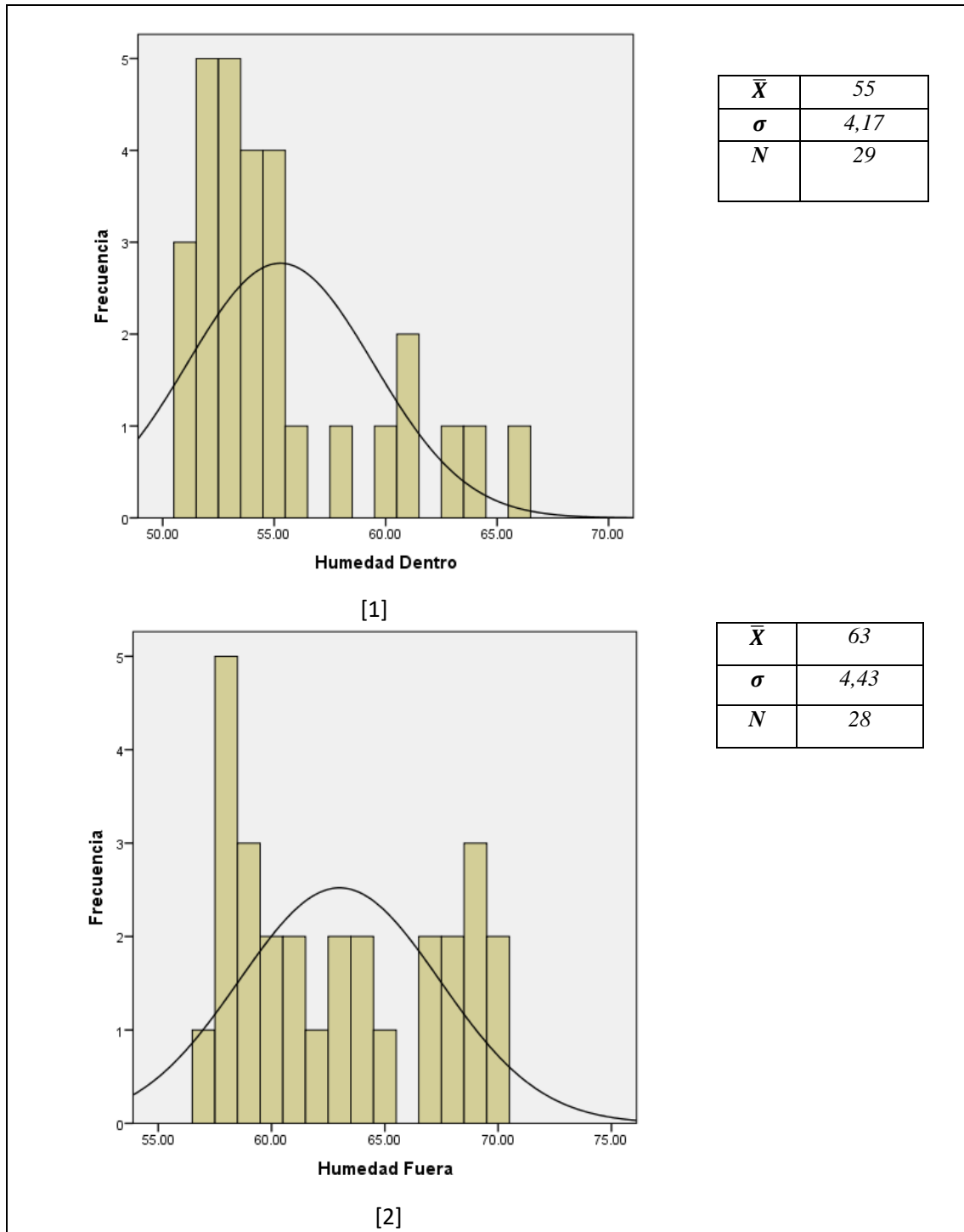


Fig. 18 Distribución de probabilidad para la humedad. (1) Dentro del recinto, (2) Fuera del recinto.

En el caso de la cámara termográfica los datos mostraron que la incertidumbre dominante en las temperaturas mínima, máxima y promedio fue la incertidumbre tipo B1. De modo que al realizar el cálculo del criterio de distribución dominante se observó que todos los valores para estas

temperaturas estuvieron por debajo de 0,3; por lo tanto, fue una distribución rectangular con infinitos grados de libertad, con un factor de cobertura de 1,65 para un nivel de confianza de 95%. En la *Tabla 8* se muestran los resultados obtenidos usando el montaje con la cámara termográfica FLUKE TI300, para el cual se obtuvieron valores de $21,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura mínima, para la máxima $21,3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y promedio $21,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si se comparan estos resultados con los obtenidos por el termohigrómetro podemos determinar que se encuentran en un valor cercano a los $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ programados en el aire acondicionado

Tabla 7. Incertidumbre para datos obtenidos con la cámara termográfica FLUKE TI300

	Temperatura cámara ($^{\circ}\text{C}$)		
	Mínima	Máxima	Promedio
<i>Promedio</i>	21,0	21,3	21,1
μ_A	0,0617	0,0654	0,0669
μ_{B1}	0,2422	0,2464	0,2438
μ_{B2}	0,0289	0,0289	0,0289
μ_C	0,2516	0,2565	0,2545
<i>Criterio de distribución dominante</i>	0,2811	0,2900	0,2989
k_p	1,65	1,65	1,65
μ_E	0,4	0,4	0,4

La *figura 19* muestra el comportamiento de las temperaturas mínima (triángulo azul), máxima (asterisco amarillo) y promedio (triángulo rojo), mostrando que el comportamiento térmico general fue estable a lo largo de las 7 horas.

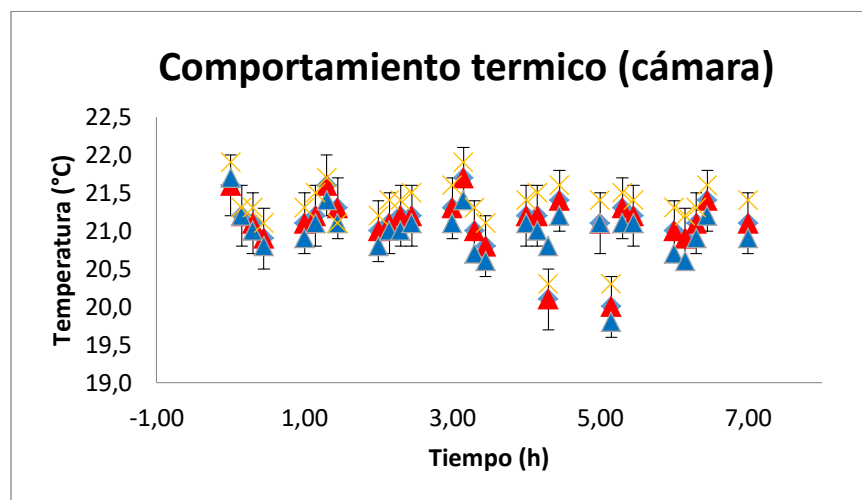


Fig. 19 Comportamiento térmico, con respectivas barras de incertidumbre

Con respecto a la curtosis de los datos se determinó para la temperatura mínima 5,139 (Comportamiento Leptocúrtico), para la máxima 4,050 (Comportamiento Leptocúrtico) y para la promedio 4,155 (Comportamiento Leptocúrtico) lo que mostro la consistencia de distribución en los datos concentrados en la media, obteniendo una curva muy apuntada.

También se registraron datos ambientales de la página Worldmeteo (<https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/colombia/pereira/tiempo-102628/>): como el punto de rocío en Pereira durante las siete horas igual a 20, 2 °C ($\sigma = 0,5$), la presión atmosférica 1016,4 hPa ($\sigma = 1,4$), la velocidad del viento 7,9 Km/h ($\sigma = 3,9$), la temperatura 25,1 °C ($\sigma = 2,4$) y la humedad 77,5% ($\sigma = 10,4$).

4.2 Prueba piloto

A continuación se presentan los resultados encontrados en la aplicación de la prueba piloto realizada en la etapa inicial de la investigación y las respectivas discusiones referentes a cada resultado.

4.2.1 Caracterización de los sujetos

Para la realización de la prueba piloto fueron seleccionados nueve estudiantes de sexo masculino con las características mencionadas en el **capítulo 3.3.1**. De los involucrados en esta parte, se extrajo información relevante en los dos momentos seleccionados usando el formulario personal y el protocolo de reporte de cada ensayo.

Fue registrada la información académica extraída del formulario personal para cada uno de los nueve sujetos. Se encontró que los estudiantes que presentaron la prueba piloto en el momento I se encontraban en promedio en sexto semestre ($\sigma=1,4$), y que en promedio habían matriculado 7 semestres ($\sigma=1,6$) en total, en su vida universitaria, dentro del programa de Ingeniería Física. La cantidad de materias para el momento I fue de 6 materias ($\sigma=1,0$) y el promedio del semestre anterior había sido de 3,9 ($\sigma=0,4$). En el momento II los estudiantes se encontraban en séptimo semestre ($\sigma=1,5$) y en promedio habían matriculado 8 semestres ($\sigma=1,6$). La cantidad de materias para el momento II fue de 7 materias ($\sigma=2,0$) y el promedio del semestre anterior fue de 3,9 ($\sigma=0,4$). También, se registraron otros datos importantes como los exámenes realizados en la semana de exámenes finales con un total de 1 examen ($\sigma=0,9$) y los exámenes que faltaban por realizarse con un promedio general de 3 exámenes ($\sigma=1,5$).

4.2.2 Análisis de fiabilidad de la escala y evaluación de los I.E.A

La presente investigación es un estudio sin patrón de oro (criterio de referencia) de la escala de tamizaje de Zung. Para la prueba piloto se realizó un muestreo no probabilístico con nueve estudiantes voluntarios matriculados en el programa de Ingeniería Física en el primer y segundo semestre del año 2017. A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la realización de la prueba psicológica basada en la escala de ansiedad de Zung de 20 puntos, en la

cual se obtuvieron los diferentes índices de evaluación de ansiedad y la consistencia interna del autoinforme en la aplicación de los dos momentos seleccionados. Según S. De la Ossa *et al.*, como norma general se necesita la participación de al menos cinco personas para el estudio psicométrico de una prueba psicológica. Para el análisis estadístico se usó el software (IBM SPSS STATISTICS 22).

Análisis de fiabilidad Momento I (Semana de exámenes finales): Para analizar la fiabilidad de la escala aplicada en la semana de exámenes finales se determinó encontrar el alfa de Cronbach. La consistencia interna de la versión de 20 puntos para la ansiedad en el momento I fue de $\alpha = 0,71$ que significa una confiabilidad aceptable según la *Tabla 3* descrita en el **Capítulo 2**. La estadística de las preguntas (reactivos) se muestra a continuación. Se suprimió el reactivo 11 (ver *Tabla 11*) debido a que no tuvo influencia en la estadística de los datos.

Tabla 8 Medidas estadísticas de cada uno de los reactivos en el momento I (Exámenes finales)

Reactivos		Media	Desviación estándar σ
1	Se ha sentido últimamente más nervioso y ansioso	2,44	0,53
2	Se ha sentido temeroso sin razón	1,44	0,53
3	Se ha sentido irritado fácilmente o ha sentido pánico	1,56	0,73
4	Ha sentido que se está derrumbando	1,11	0,33
5	Ha sentido que nada malo va a pasar que todo va bien	1,78	0,97
6	Se ha sentido tembloroso	1,11	0,33
7	Le ha dolido el cuello la espalda o la cabeza	2,22	0,67
8	Se ha sentido débil y se cansa fácilmente	2,11	0,78
9	Se ha sentido calmado y puede mantenerse quieta	2,11	0,60
10	Ha sentido palpitaciones taticardia últimamente	1,11	0,33
12	Se ha desmayado o ha sentido síntomas de desmayo	1,11	0,33
13	Ha podido respirar con facilidad	1,89	1,36
14	Ha sentido hormigueo o falta de sensibilidad en los dedos	1,33	0,50
15	Ha sentido nauseas o malestar en el estomago	1,67	0,71
16	Ha orinado con mayor frecuencia de lo normal	1,56	0,73
17	Ha sentido sus manos secas y calientes	3,56	0,74
18	Se ha ruborizado con frecuencia	1,78	0,67
19	Ha dormido bien y descansado de noche	2,56	0,73
20	Ha tenido pesadillas	1,44	0,88

Las correlaciones de Pearson miden la relación estadística entre los reactivos. Un valor de 0 indica una no asociación, mientras que valores superiores a 0 indican una asociación positiva; es decir, a medida que aumenta la medida de uno de los reactivos, también lo hace la medida de los otros reactivos. Un valor inferior a 0 indica que a medida que aumenta la medida de un reactivo, disminuyen las medidas de los demás. En la *Tabla 10* se presentan dichas correlaciones en donde se subrayan el reactivo que generó la correlación más alta positiva (pregunta 3) y el reactivo que generó la más baja negativa (pregunta 17), además del alfa de Cronbach para la prueba si se eliminara alguna de las preguntas. En esta tabla se evidencia que para obtener una fiabilidad aún mayor el reactivo que al ser suprimido generaría una mayor fiabilidad de la prueba según el alfa de Cronbach, es el reactivo 13 con $\alpha = 0,81$ lo que nos daría una buena fiabilidad.

Tabla 9 Estadísticos de correlación. (1) Varianza si el reactivo se ha suprimido, (2) Correlación de Pearson corregida (3) Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido

Reactivo		Varianza	Correlación total corregida	Alfa de Cronbach
1	Se ha sentido últimamente más nervioso y ansioso	27,53	0,15	0,71
2	Se ha sentido temeroso sin razón	26,28	0,38	0,69
3	Se ha sentido irritado fácilmente o ha sentido pánico	23,00	0,73	0,65
4	Ha sentido que se está derrumbando	27,19	0,38	0,70
5	Ha sentido que nada malo va a pasar que todo va bien	23,36	0,46	0,68
6	Se ha sentido tembloroso	27,19	0,38	0,70
7	Le ha dolido el cuello la espalda o la cabeza	26,00	0,32	0,70
8	Se ha sentido débil y se cansa fácilmente	26,44	0,19	0,71
9	Se ha sentido calmado y puede mantenerse quiero	24,69	0,59	0,67
10	Ha sentido palpitaciones taticardia últimamente	26,44	0,60	0,69
12	Se ha desmayado o ha sentido síntomas de desmayo	27,44	0,30	0,70
13	Ha podido respirar con facilidad	31,75	-0,32	0,81
14	Ha sentido hormigueo o falta de sensibilidad en los dedos	25,78	0,51	0,69
15	Ha sentido nauseas o malestar en el estomago	25,19	0,41	0,69
16	Ha orinado con mayor frecuencia de lo normal	25,50	0,35	0,69
17	Ha sentido sus manos secas y calientes	29,50	-0,18	0,74
18	Se ha ruborizado con frecuencia	25,86	0,34	0,70
19	Ha dormido bien y descansado de noche	24,25	0,54	0,68
20	Ha tenido pesadillas	22,28	0,67	0,65

Análisis de fiabilidad Momento II (Semana de inicio de semestre): Para analizar la fiabilidad de la escala aplicada en la semana de inicio de semestre se determinó encontrar el alfa de Cronbach. La consistencia interna de la versión de 20 puntos para la ansiedad en el momento II fue de $\alpha = 0,78$ lo cual significa una confiabilidad aceptable y mayor a la del momento I

(página 47). La tabla estadística para cada reactivo se muestra a continuación:

Tabla 10 Medidas estadísticas de cada uno de los reactivos en el momento II. (Inicio de semestre)

Reactivos		Media	Desviación estándar
1	Se ha sentido últimamente más nervioso y ansioso	2,00	0,71
2	Se ha sentido temeroso sin razón	1,22	0,44
3	Se ha sentido irritado fácilmente o ha sentido pánico	1,44	0,73
4	Ha sentido que se está derrumbando	1,22	0,44
5	Ha sentido que nada malo va a pasar que todo va bien	2,22	0,67
6	Se ha sentido tembloroso	1,22	0,44
7	Le ha dolido el cuello la espalda o la cabeza	1,78	0,83
8	Se ha sentido débil y se cansa fácilmente	1,89	0,78
9	Se ha sentido calmado y puede mantenerse quieto	2,22	0,44
10	Ha sentido palpitaciones taticardia últimamente	1,22	0,44
11	Se ha sentido últimamente mareado	1,11	0,33
12	Se ha desmayado o ha sentido síntomas de desmayo	1,11	0,33
13	Ha podido respirar con facilidad	1,11	0,33
14	Ha sentido hormigueo o falta de sensibilidad en los dedos	1,44	0,73
15	Ha sentido nauseas o malestar en el estomago	1,67	0,71
16	Ha orinado con mayor frecuencia de lo normal	1,78	0,67
17	Ha sentido sus manos secas y calientes	3,33	0,71
18	Se ha ruborizado con frecuencia	1,56	0,73
19	Ha dormido bien y descansado de noche	2,33	0,87
20	Ha tenido pesadillas	1,44	0,88

Las correlaciones de Pearson corregidas entre cada reactivo y el total de los reactivos se muestran en la *Tabla 12*. En esta tabla se evidencio que para obtener una fiabilidad aún mayor el reactivo que al ser suprimido generaría un mayor alfa de Cronbach es el reactivo 17 con $\alpha = 0,81$ lo que nos daría una buena fiabilidad según la *Tabla 3* presentada en el **Capítulo 2**. Se ha subrayado en color rojo la correlación de Pearson más alta positiva y en azul la más baja negativa, se ha subrayado en color verde el reactivo que al ser suprimido generaría la fiabilidad más alta.

Tabla 11 Estadísticos de correlación. (1) Varianza si el reactivo se ha suprimido, (2) Correlación de Pearson corregida, (3) Alfa de Cronbach

Reactivos		Varianza	Correlación total Pearson corregida	Alfa de Cronbach
1	Se ha sentido últimamente más nervioso y ansioso	25,50	0,77	0,74
2	Se ha sentido temeroso sin razón	28,86	0,52	0,77
3	Se ha sentido irritado fácilmente o ha sentido pánico	26,36	0,62	0,75
4	Ha sentido que se está derrumbando	29,86	0,30	0,78
5	Ha sentido que nada malo va a pasar que todo va bien	29,61	0,20	0,78
6	Se ha sentido tembloroso	29,61	0,35	0,77
7	Le ha dolido el cuello la espalda o la cabeza	29,03	0,20	0,77
8	Se ha sentido débil y se cansa fácilmente	24,28	0,86	0,73
9	Se ha sentido calmado y puede mantenerse quiero	32,11	-0,16	0,79
10	Ha sentido palpitaciones taticardia últimamente	28,61	0,57	0,76
11	Se ha sentido últimamente mareado	31,44	-0,01	0,79
12	Se ha desmayado o ha sentido síntomas de desmayo	31,44	-0,01	0,79
13	Ha podido respirar con facilidad	29,69	0,47	0,77
14	Ha sentido hormigueo o falta de sensibilidad en los dedos	30,86	0,01	0,80
15	Ha sentido nauseas o malestar en el estomago	26,00	0,69	0,75
16	Ha orinado con mayor frecuencia de lo normal	29,53	0,21	0,78
17	Ha sentido sus manos secas y calientes	32,25	-0,16	0,81
18	Se ha ruborizado con frecuencia	25,19	0,79	0,74
19	Ha dormido bien y descansado de noche	26,75	0,45	0,76
20	Ha tenido pesadillas	28,11	0,28	0,78

Según el anterior análisis la escala de Zung presento la misma fiabilidad para los dos momentos, mostrando que para el momento de inicio de semestre la fiabilidad de la escala fue ligeramente mayor. En el momento de exámenes finales la pregunta así podía respirar con facilidad podría llegar a ser suprimida en la aplicabilidad de la prueba en el momento de exámenes finales; para

el momento de inicio de semestre la pregunta que podría ser suprimida fue el sentir las manos secas y calientes la cual al ser suprimida podría generar una mejor consistencia de la escala obteniendo un $\alpha = 0,81$.

Evaluación de los índices de ansiedad IEA

Con respecto a los IEA encontrados en el momento I (exámenes finales) se determinó según la escala de Zung que el 44,4% de los participantes presentaban síntomas de ansiedad moderada, el resto de ellos 55,6% no presentaron síntomas ansiosos. Con respecto a las cifras para el momento II (inicio de semestre) se encontró que el 44,4% de los estudiantes participantes presentaban síntomas de ansiedad moderada, el resto de ellos 55,6% no presentaron síntomas ansiosos en concordancia con el primer momento. Según la información anteriormente mencionada no existieron diferencias generales entre presentar exámenes finales y el ingreso a la universidad según la escala de 20 puntos de Zung, la cual mide ansiedad de estado. Los I.E.A. tanto en el momento I como en el momento II con sus respectivas equivalencias clínicas se presentan en la *Tabla 13*.

Tabla 12 Índices de ansiedad con su respectiva interpretación clínica para el momento I (Exámenes finales) y el momento II (Inicio de semestre). Se han marcado en color rojo los sujetos con ansiedad moderada y en verde aquellos sin presencia de ansiedad.

	Momento I	Equivalencia clínica	Momento II	Equivalencia clínica
S1	38	Normal, sin ansiedad	30	Normal, sin ansiedad
S2	50	Ansiedad moderada	50	Ansiedad moderada
S3	53	Ansiedad moderada	46	Ansiedad moderada
S4	54	Ansiedad moderada	46	Ansiedad moderada
S5	40	Normal, sin ansiedad	35	Normal, sin ansiedad
S6	41	Normal, sin ansiedad	42	Normal, sin ansiedad
S7	41	Normal, sin ansiedad	41	Normal, sin ansiedad
S8	56	Ansiedad moderada	48	Ansiedad moderada
S9	36	Normal, sin ansiedad	35	Normal, sin ansiedad

4.2.3 Análisis ROI (Biomarcador térmico ubicado en la nariz)

Para el análisis ROI en la prueba piloto fue considerada la zona facial propuesta por algunas investigaciones como localización de biomarcadores de respuesta psicológica [1, 2, 3, 4, 8, 25]. En esta zona fue aplicado el procedimiento descrito en el **capítulo 3** localizando un biomarcador ubicado en la nariz. Si bien, en el procesamiento de las imágenes se identificaron otros posibles biomarcadores como las mejillas y la frente, estos no serán discutidos en este trabajo, y se sugiere como perspectiva a futuro la identificación, análisis y la discusión de estos posibles biomarcadores como indicadores de un estado de ansiedad.

Tabla 13 Cambio de temperatura promedio $\Delta_T(^{\circ}\text{C})$ del biomarcador (Nariz) para cada momento, siendo T_I la temperatura promedio del biomarcador en el momento de exámenes finales y T_{II} la temperatura promedio del biomarcador al inicio de semestre.

Rango Sujeto		10%		12%		14%		16%	
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
S1	T_I	32,74	0,14	32,69	0,12	*	*	*	*
	T_{II}	32,80	0	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	0,06	-0,14	-	-	-	-	-	-
S2	T_I	31,98	0,55	31,92	0,50	31,84	0,45	31,78	0,42
	T_{II}	28,68	0,34	28,63	0,32	28,59	0,29	28,49	0,28
	Δ_T	-3,30	-0,21	-3,29	-0,18	-3,25	-0,16	-3,29	-0,14
S3	T_I	32,77	0,23	32,73	0,21	32,68	0,17	32,65	0,33
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	32,54	0	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S5	T_I	33,38	0,21	33,34	0,13	33,28	0,09	33,26	0,07
	T_{II}	32,68	0,04	32,60	0	*	*	*	*
	Δ_T	-0,70	-0,17	-0,74	-0,13	-	-	-	-
S6	T_I	33,80	0	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	32,47	0,10	32,42	0,16	32,20	0,26	32,10	0,28
	Δ_T	-1,33	0,10	-	-	-	-	-	-
S7	T_I	32,71	0,18	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	32,47	0,16	32,42	0,13	32,20	0,26	32,10	0,28
	Δ_T	-0,24	-0,02	-	-	-	-	-	-
S8	T_I	32,60	0	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	32,82	0,06	32,79	0,03	*	*	*	*
	Δ_T	0,22	0,06	-	-	-	-	-	-
S9	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-

*ROI sin cambios significantes de temperatura

En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos para la temperatura promedio del biomarcador situado en la nariz y se muestra la diferencia de temperatura entre los dos momentos seleccionados como se indica en la **ecuación 3.4** aplicando rangos del 10%, 12%, 14% y 16%,

los cuales fueron calculados según la **ecuación 3.1**. Cabe resaltar que el rango seleccionado para esta prueba fue el del 10% debido a que funcionó en un 66,7% de los participantes en cuanto a la localización del biomarcador en la nariz. En esta tabla 14 se han marcado los incrementos de temperatura con rojo y los decrementos de temperatura con azul. Algunos cambios no parecen significativos (*), sin embargo esto se debe a que la tendencia a aumentar o disminuir en un biomarcador térmico no siempre será la misma para cada sujeto, puesto que la reacción fisiológica de respuesta a un proceso psicológico puede ser diferente dependiendo del estado de la persona al momento de la adquisición de las imágenes, tal como o sugieren los resultados obtenidos por A. Cruz-Albarrán *et al.*, [25].

Los decrementos en la nariz (Mayor temperatura en el biomarcador en el momento de exámenes finales que en el momento de inicio de semestre) para el rango del 10% estuvieron entre (0,24-3,30) °C con un valor promedio de 1,39 °C ($\sigma = 1,35$) que se puede considerar una diferencia significativa en comparación con las diferencias encontradas en el experimento de A. Moliné *et al.*, mencionadas en los antecedentes de este trabajo. Los incrementos (Mayor temperatura en el biomarcador en el momento de inicio de semestre que el momento de exámenes finales) estuvieron entre (0,06-0,22) °C con un promedio de 0,14 °C ($\sigma = 1,35$). Este último resultado parece mostrar la pequeñez de los incrementos con respecto a los decrementos, sugiriendo que la temperatura promedio del biomarcador en la nariz fue mayor cuando los participantes se encontraban en exámenes finales. Debido a que según la escala psicológica la concentración de los I.E.A no dependieron de los momentos seleccionados, es necesario discutir estos resultados dentro de la prueba de validación.

La *Tabla 15* muestra los cambios de tamaño del biomarcador en la nariz para los dos momentos. En esta tabla se han marcado los incrementos de tamaño con rojo y los decrementos con azul. Se puede observar claramente que el tamaño del biomarcador es menor en el momento II en un 55,60% de la población para el rango del 10%, 22,22% de la población para el rango de 12%, 11,11% para el 14% y 16%. Fue observado que si se aumentaba el rango aplicado el tamaño del marcador disminuía, es por esta razón que a medida que el rango aumento, la probabilidad de encontrar el biomarcador en la población disminuyo como se mostró anteriormente.

Tabla 14 Cambio de Área (mm²) del ROI (Nariz) para cada momento, siendo A_I el área del biomarcador en el momento de exámenes finales y A_{II} el biomarcador en el momento de inicio de semestre. Se han marcado en color azul los decrementos de área y en color rojo los incrementos.

Sujeto \ Rango		10%	12%	14%	16%
S1	A_I	0,196	0,147	*	*
	A_{II}	0,061	*	*	*
	Δ_A	-0,135	-	-	-
S2	A_I	2,903	2,695	2,474	2,266
	A_{II}	0,845	0,723	0,637	0,575
	Δ_A	-2,058	-1,972	-1,873	-1,691
S3	A_I	0,539	0,478	0,404	0,269
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S4	A_I	0,049	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S5	A_I	1,249	0,392	0,269	0,208
	A_{II}	0,134	0,098	*	*
	Δ_A	-1,115	-0,294	-	-
S6	A_I	0,061	*	*	*
	A_{II}	0,159	0,073	0,037	0,024
	Δ_A	-0,061	-	-	-
S7	A_I	0,098	*	*	*
	A_{II}	0,073	0,061	0,037	0,024
	Δ_A	-0,025	-	-	-
S8	A_I	0,037	*	*	*
	A_{II}	0,122	0,086		
	Δ_A	0,085	-	-	-
S9	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-

*ROI sin cambios significantes de área.

4.2.4 Correlaciones

Cuando se dispone de dos o más pruebas para abordar el diagnóstico de un mismo problema clínico, es posible hacer una comparación de ambas pruebas usando curvas ROC (Receiver Operating Characteristic). Para correlacionar los índices de ansiedad con el biomarcador ubicado en la nariz se seleccionaron los tipos de casos, dentro de las pruebas como se muestra en la *Tabla 16* para el caso del momento I (semana de exámenes en la prueba piloto); en donde los verdaderos positivos (VP), fueron aquellos participantes en los que se presenció ansiedad moderada según la escala de Zung y localización del biomarcador en la nariz para un rango del 10%. Los falsos positivos (FP), aquellos casos en los que no se encontró ansiedad según la escala psicológica, pero sí evidencia de localización del biomarcador en el rango del 10%. En forma similar, los falsos negativos (FN) fueron aquellos casos en los que no había ansiedad según la escala de Zung, ni se pudo localizar el biomarcador. Por último, los verdaderos negativos (VN)

se consideraron como aquellos casos en los que se encontró ansiedad moderada según la escala, pero no localización del biomarcador.

Momento I (Semana de exámenes finales):

Tabla 15 Clasificación de los participantes según las pruebas aplicadas en el momento I (Exámenes finales)

		Diagnóstico con prueba Zung	
		Ansiedad positiva	Ansiedad negativa
Prueba termográfica ROI 10% Biomarcador Nariz	Prueba positiva	VP	FP
		S2, S3, S8	S1, S5, S6, S7
	Prueba negativa	FN	VN
		S9	S4

Para obtener la curva ROC se hizo uso del paquete estadístico del software SPSS en donde se seleccionaron como variables de prueba los índices de ansiedad (Variable que indica enfermedad) y las temperaturas promedio de los biomarcadores (Variable de prueba). La variable de estado se determinó bajo la suposición de la respuesta clínica de la escala de Zung y la existencia del biomarcador, etiquetados como casos VP (Resultados positivos correctos). La variable de estado fue definida como 1 para la presencia de ansiedad y como 0 la inexistencia de ésta. De la tabla 16 podemos entonces inferir que se presentaron 3 VP, 4 FP, 1 FN, 1 VN. En la *Tabla 17* se muestra el resumen del procesamiento de casos, de modo que al final el muestreo indica que se tuvieron un total de 9 estudiantes de los cuales 3 padecían ansiedad en el momento I y 6 estaban sanos.

Tabla 16 Resumen de casos momento I (Exámenes finales)

Estado real de los participantes	N válido (por lista)
Positivo	3
Negativo	6

La estimación de la curva ROC para los datos discutidos aquí al comparar las dos pruebas en la prueba piloto, se muestra en la figura 20. A partir de la curva ROC se pudo obtener información de las áreas bajo la curva AUC, error estándar e intervalo de confianza para las pruebas, como se muestra en la *Tabla 18*.

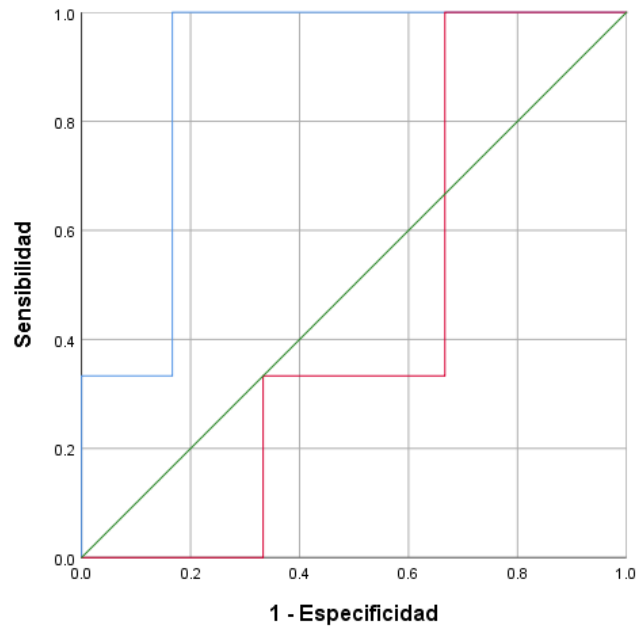


Fig. 20 Curva ROC (Exámenes finales). Se marcan en color azul los I.E.A y en rojo los biomarcadores.

Tabla 17 Variables de resultado para ambas pruebas

Variable(s) de resultado de prueba	Área	Error estándar	Significación asintótica	95% de intervalo de confianza asintótico	
				Límite inferior	Límite superior
Índices de ansiedad	0,889	0,119	0,071	0,656	1,000
Biomarcador en la nariz	0,444	0,199	0,796	0,054	0,835

Según la *Tabla 18* el valor estimado para el área bajo la curva (AUC) del Biomarcador ubicado en la nariz en exámenes finales fue de 44,4%, mientras que el (AUC) para los índices de ansiedad fue del 88,9%. Los límites del intervalo de confianza para el biomarcador estuvieron entre el (5,4-83,5) % mientras que para los I.E.A estuvieron entre (65,6-100) %. Según J. Cerda *et al.*, [24] la prueba termográfica en el momento I no tuvo una buena capacidad discriminante en el diagnóstico, ya que el área bajo la curva fue inferior a 0,5 (50%) de la probabilidad de seleccionar un sujeto con ansiedad. La prueba psicológica con un 88,9% se comporta como un buen test discriminatorio, con probabilidades altas de selección de sujetos con ansiedad. Hay que resaltar que los resultados determinados anteriormente son producto de una prueba piloto de solo nueve sujetos que según la prueba psicológica solo cuatro de los nueve sujetos presentaron síntomas ansiosos.

Momento II (Inicio de semestre académico):

En la *Tabla 21* y *22* se presenta la información clasificatoria de los sujetos en el momento de

inicio de semestre en la prueba piloto.

Tabla 18 Clasificación de los sujetos según las pruebas aplicadas en el momento de inicio de semestre académico

		Diagnóstico con prueba Zung	
		Ansiedad positiva	Ansiedad negativa
Prueba termográfica ROI(Nariz)	Prueba positiva	VP	FP
		S2,S4,S8	S1,S5,S6,S7
	Prueba negativa	FN	VN
		S9	S3

Tabla 19 Resumen de casos momento de inicio de semestre académico

Escala real del paciente	N válido (por lista)
Positivo	3
Negativo	6

La muestra del momento II se compuso de los mismos 9 estudiantes del momento I, de los cuales 3 padecían ansiedad al iniciar el semestre y 6 estaban sanos. La estimación de la curva ROC para dicho evento bajo ésta muestra fue:

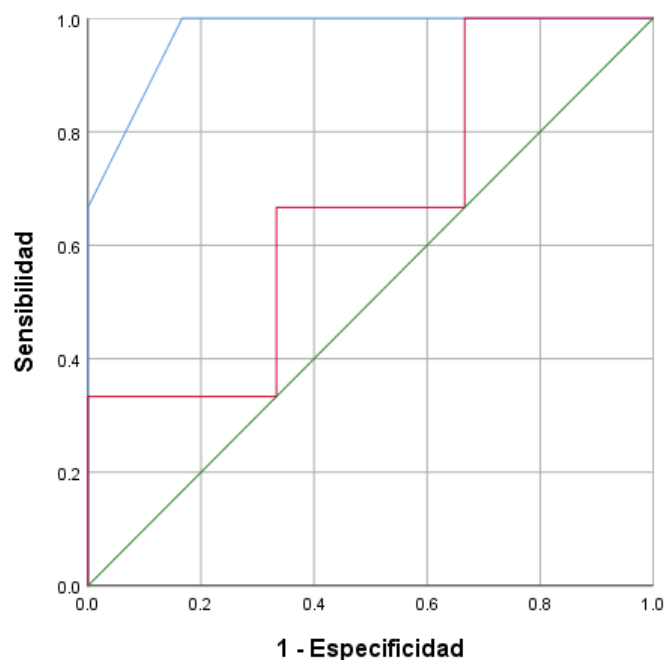


Fig. 21 Curva ROC (Exámenes finales). Se marcan en color azul los I.E.A y en rojo los biomarcadores

A partir de la curva ROC se pudo obtener información de las áreas bajo la curva AUC, error estándar e intervalo de confianza para las pruebas como se muestra en la *Tabla 21*.

Tabla 20 Variables de resultado para ambas pruebas en el momento de exámenes finales

Variable(s) de resultado de prueba	Área	Error estándar	Significación asintótica	95% de intervalo de confianza asintótico	
				Límite inferior	Límite superior
Índice de ansiedad	0,972	0,052	0,028	0,870	1,000
Biomarcador en la nariz	0,667	0,203	0,439	0,269	1,000

Según la *Tabla 21* el valor estimado para el AUC del Biomarcador ubicado en la nariz fue de 66,7% mientras que el área para los índices de ansiedad fue del 97,2%. Los límites del intervalo de confianza para el biomarcador estuvieron entre el (26,9-100) % mientras que para los I.E.A estuvieron entre (87,0-100) %. Según lo anterior la prueba termográfica en el momento II tuvo una capacidad discriminante regular en el diagnóstico, ya que el área bajo la curva fue superior a 0,5 (50%) de la probabilidad de seleccionar un sujeto con ansiedad, pero inferior a 0,8 (80%) buena capacidad discriminante. La prueba psicológica con un 97,2% se comporta como un test excelente para discriminar entre sujetos con ansiedad y sin ansiedad bajo el supuesto de (Ansiedad escala y existencia de biomarcador), con probabilidades altas de selección de sujetos con ansiedad [24].

La *Tabla 22* presenta las generalidades tanto de escala, como del biomarcador. Se encontró que tanto en el momento I como en el momento II los estudiantes con ansiedad moderada y los estudiantes sin ansiedad eran los mismos a pesar de ser momentos diferentes de evaluación. Se evidenciaron dos casos críticos tanto para la presencia de ansiedad como para la ausencia de esta, donde bajo el supuesto (Ansiedad escala y existencia de biomarcador) se comportaron como VP y FN respectivamente.

Tabla 21 Generalidades entre los dos momentos. Se muestra en color azul el caso crítico para un sujeto con ansiedad y en rojo para un sujeto sin ansiedad.

Sujeto	Ansiedad según la escala	Delta de temperatura	Tendencia biomarcador
S1	NO	0,06	$T_{II} > T_I$
S2	SI	-3,36	$T_{II} < T_I$
S3	SI	0	0
S4	SI	0	0
S5	NO	-0,70	$T_{II} < T_I$
S6	NO	-1,33	$T_{II} < T_I$
S7	NO	-0,24	$T_{II} < T_I$
S8	SI	0,22	$T_{II} > T_I$
S9	NO	0	0

4.2.5 Tamaño de la muestra de validación

Según los resultados de la prueba piloto fue posible realizar una prueba de validación con una muestra más grande, en la cual se corroboraron los resultados obtenidos. Para determinar el

tamaño de la muestra a seleccionar se hizo uso de la **ecuación 3.5**. Uno de los parámetros de la **ecuación 3.5** es la desviación estándar, para ello se siguió el procedimiento especificado en el **numeral 3.3.3** en donde se seleccionaron 12 puntos igualmente espaciados de cada una de las imágenes, obteniendo las diferentes desviaciones estándar y la desviación estándar promedio total equivalente a $\sigma = 0,65$. Para esta prueba se seleccionaron 30 estudiantes de ingeniería física, hombres y mujeres que participaron de manera voluntaria a través del consentimiento informado, por ende el error estándar aceptable se sesgo a un valor de 0,23 como se muestra en la **ecuación 4.1**.

$$30 = \left(\frac{(1,96)(0,65)}{0,23} \right)^2 \quad (4.1)$$

4.3 Prueba de validación

Esta prueba tuvo gran significancia a la hora de corroborar los resultados obtenidos en la prueba piloto. Cabe resaltar que dicha aplicación fue realizada en el año 2019 periodo que equivalió a anomalías académicas que venían presentándose incluso desde el año 2018, por tal motivo los estudiantes que presentaron esta prueba estuvieron sujetos a dichas anomalías incluyendo matricular tres semestres académicos en un año. Los efectos de dicha presión académica pueden influir en los resultados obtenidos en esta prueba y presentados a continuación:

4.3.1 Caracterización de los sujetos

Para la realización de la prueba piloto fueron seleccionados treinta sujetos con las características mencionadas en la **sección 3.5.1**. De los cuales se extrajo información relevante en los dos momentos seleccionados, usando el formulario personal y el protocolo de reporte de cada ensayo. Cabe resaltar que los momentos para la prueba de validación siguieron la línea de aplicabilidad según fueron realizados, por tal motivo los momentos I y II de la prueba de validación tienen dirección invertida a la prueba piloto, siendo el momento I (Inicio de semestre) y el momento II (Exámenes finales).

Se registró información académica extraída del formulario personal para cada uno de los nueve sujetos. Se encontró que los estudiantes que presentaron la prueba piloto en el momento I (Inicio de semestre académico) se encontraban en promedio en octavo semestre ($\sigma=1,2$) y que en promedio habían matriculado 9 semestres ($\sigma=1,9$) en total de su vida universitaria dentro del programa de ingeniería física. La cantidad de materias para el momento I fue de 7 materias ($\sigma=1,6$).

En el momento II (Semana de exámenes finales) los estudiantes se encontraban en promedio aun en el octavo semestre. La cantidad de materias para el momento II fue igual al momento I debido a que los dos momentos hacen parte del mismo semestre. También se registraron otros datos importantes como los exámenes realizados en la semana de exámenes finales con un promedio de 2 exámenes ($\sigma=1,5$) y los exámenes que faltaban por realizarse con un promedio de 0,5 exámenes ($\sigma=0,7$). Las imágenes termográficas tanto para el momento I como para el momento II en la prueba de validación, fueron tomadas a una distancia de 0,86 m. La temperatura promedio inicial dentro del laboratorio en el momento I fue de 21,17 °C ($\sigma=0,96$) y la final fue

de 21,29 °C ($\sigma=1,10$). La humedad relativa inicial fue de 54% ($\sigma=5$) y la final fue de 53% ($\sigma=4$). La temperatura de segundo plano fue de 21,23 ($\sigma=1,00$) mientras que la temperatura corporal de los treinta estudiantes en promedio fue de 35,9 °C ($\sigma=0,6$). En el segundo momento la temperatura promedio inicial fue 22,13 °C ($\sigma=0,39$) y la final fue de 21,13 °C ($\sigma=0,39$). La humedad relativa inicial fue de 56% ($\sigma=3$) y la final fue 56% ($\sigma=3$). La temperatura de segundo plano fue de 21,74°C ($\sigma=0,96$) mientras que la temperatura corporal promedio de los treinta estudiantes fue de 36,0 ($\sigma=0,6$)

4.3.2 Evaluación de los I.E.A

Con respecto a los índices de ansiedad (I.E.A.) encontrados en el momento de inicio de semestre, se determinó según la escala de Zung que el 20% de los estudiantes participantes presentaban síntomas de ansiedad marcada a severa, dentro de los cuales el 83,3% fueron mujeres y el 16,7% hombres. El 36,7% presentaban síntomas de ansiedad moderada, dentro de los cuales 54,5% eran mujeres y 45,4% hombres. El 43,3 % tuvieron un estado normal, sin ansiedad con porcentajes de 76,9% hombres y 23,1% mujeres. Cabe resaltar que el 13,3% de los participantes habían sido diagnosticados medicamente con anterioridad, quienes para el primer momento según la escala presentaban síntomas de ansiedad marcada a severa en un 100%.

En el momento II (Exámenes finales) el 16,7% de los estudiantes presentaban ansiedad marcada a severa, de los cuales 100% fueron mujeres. El 30% presentaban síntomas de ansiedad moderada de los cuales 55,6% fueron mujeres y 44,4% hombres. El 53,3 % tuvieron un estado normal sin ansiedad, dentro de los cuales 81,3% fueron hombres y 18,7% mujeres. Con respecto a los estudiantes con diagnóstico médico en el segundo momento, el 75% presentaron ansiedad marcada a severa y el 25% ansiedad moderada. Los estudiantes medicados con anterioridad han sido marcados en color rojo en la *Tabla 23*.

Los primeros cinco sujetos de la prueba piloto fueron expuestos a la prueba de validación y pueden ser identificados de la siguiente manera: (S1=S7), (S2=S23), (S3=S22), (S4=S17), (S5=S25). Estos sujetos no presentaron síntomas ansiosos en un 80% de los casos según la escala de Zung y han sido marcados en color azul en la *Tabla 23*.

Es notorio que los porcentajes de índices de ansiedad más elevados según la escala de Zung, fueron presentados por las mujeres tanto en el momento I como en el momento II, quienes presentaron síntomas de ansiedad independientemente de los exámenes finales (Caso particular de la prueba piloto) Estas pueden ser identificadas en color morado en la *Tabla 23*. Estudios previos como el de A. Cardona [6] sugieren que la prevalencia de la ansiedad en el caso de las mujeres, es mucho más elevada que en los hombres obteniendo resultados de prevalencia de ansiedad en los hombres de 16% y de 21,8% en las mujeres.

Con respecto a las personas diagnosticadas con anterioridad en un 100% fueron mujeres, quienes tenían índices de ansiedad críticos con respecto a los demás participantes. En la *Tabla 23* se muestran dichas estudiantes marcadas en color rojo.

A continuación se presentan los índices de ansiedad obtenidos tanto en el momento I (Inicio de semestre académico) como en el momento II (Semana de exámenes finales) con sus respectivas equivalencias clínicas y categorización.

Tabla 22 Índices de ansiedad con su respectiva historia clínica en ambos momentos. Se han marcado en color rojo los casos diagnosticados con anterioridad y en azul los casos que hicieron parte de la prueba piloto.

	I.E.A I	Equivalencia clínica	I.E.A II	Equivalencia clínica	Antecedentes
S1	45	Presencia de ansiedad moderada	71	Presencia de ansiedad marcada a severa	NO
S2	60	Presencia de ansiedad marcada a severa	59	Presencia de ansiedad moderada	SI
S3	45	Presencia de ansiedad moderada	49	Presencia de ansiedad moderada	NO
S4	47	Presencia de ansiedad moderada	44	Normal, sin ansiedad	NO
S5	56	Presencia de ansiedad moderada	44	Normal, sin ansiedad	NO
S6	39	Normal sin ansiedad	41	Normal, sin ansiedad	NO
S7	30	Normal sin ansiedad	30	Normal, sin ansiedad	NI
S8	62	Presencia de ansiedad marcada a severa	64	Presencia de ansiedad marcada a severa	SI
S9	72	Presencia de ansiedad marcada a severa	71	Presencia de ansiedad marcada a severa	SI
S10	52	Presencia de ansiedad moderada	49	Presencia de ansiedad moderada	NO
S11	40	Normal sin ansiedad	35	Normal, sin ansiedad	NO
S12	45	Presencia de ansiedad moderada	43	Normal, sin ansiedad	NO
S13	41	Normal sin ansiedad	46	Normal, sin ansiedad	NO
S14	49	Presencia de ansiedad moderada	44	Normal, sin ansiedad	NO
S15	64	Presencia de ansiedad marcada a severa	64	Presencia de ansiedad marcada a severa	SI
S16	60	Presencia de ansiedad marcada a severa	45	Presencia de ansiedad moderada	NO
S17	46	Presencia de ansiedad moderada	50	Presencia de ansiedad moderada	NO
S18	55	Presencia de ansiedad moderada	54	Presencia de ansiedad moderada	NO
S19	30	Normal sin ansiedad	32	Normal, sin ansiedad	NO
S20	70	Presencia de ansiedad marcada a severa	66	Presencia de ansiedad marcada a severa	NO
S21	31	Normal sin ansiedad	36	Normal, sin ansiedad	NO
S22	32	Normal sin ansiedad	31	Normal, sin ansiedad	NO
S23	41	Normal sin ansiedad	39	Normal, sin ansiedad	NO
S24	29	Normal sin ansiedad	41	Normal, sin ansiedad	NO
S25	42	Normal sin ansiedad	32	Normal, sin ansiedad	NO
S26	54	Presencia de ansiedad moderada	54	Presencia de ansiedad moderada	NO
S27	36	Normal sin ansiedad	37	Normal, sin ansiedad	NO
S28	32	Normal sin ansiedad	32	Normal, sin ansiedad	NO
S29	42	Normal sin ansiedad	52	Presencia de ansiedad moderada	NO
S30	45	Presencia de ansiedad moderada	51	Presencia de ansiedad moderada	NO

4.3.3 Análisis ROI (Biomarcador térmico ubicado en la nariz)

Como resultado de la prueba de validación relacionada a la localización de biomarcadores térmicos relacionados con la ansiedad académica se presenta la *Tabla 24* la cual esta subdivida en tres tablas que incluyen diez sujetos cada una (Sin orden específico). En esta se muestran los datos obtenidos para la temperatura promedio del biomarcador situado en la nariz, diferenciando entre hombres (Color gris) y mujeres (Color morado); además se presenta la diferencia de temperatura en los momentos seleccionados, aplicando rangos del 10, 12, 14 y 16 por ciento. Se destaca que el rango en el que se evidencio mayor número de veces el biomarcador fue a un rango del 10%. Por lo tanto en lo que concierne a esta prueba será el rango analizado, sin dejar de lado que a medida que se aumentó el rango, el valor de la temperatura tendía a disminuir al igual que lo tamaños del biomarcador los cuales se muestran como anexos de este documento.

En el momento I (Inicio de semestre) se encontró que 63,33% de los sujetos tenían un biomarcador en la nariz para el rango de 10% dentro de los cuales, 42,10% eran mujeres y 57,80% hombres con temperaturas que se encontraban entre (23,87-31,36) °C. En el momento II (Semana de exámenes finales) se encontró que el 60% de los sujetos presentaban biomarcador en la nariz, dentro de los cuales 50% eran hombres y 50% mujeres con temperaturas que se encontraban entre (25,86-31,04) °C.

En la *Tabla 24* se han marcado los incrementos de temperatura con rojo y los decrementos de temperatura con azul. Según esta tabla, se encontró que los decrementos de temperatura en la diferencia de momentos (Δ_T) estuvo entre (0,45-3,67) °C con un promedio de 1,42 °C ($\sigma = 1,35$) mientras que los incrementos estuvieron entre (0,05-4,98) °C con un promedio de 1,57°C ($\sigma=1,63$). Se determinó que el 40% de las diferencias de temperatura para los sujetos que presentaron un biomarcador en la nariz en los dos momentos fueron decrementos de temperatura ($T_I > T_{II}$) mientras que el 60% fueron incrementos ($T_I < T_{II}$) para un rango del 10%. También fue evidente que la nariz no funciona como biomarcador en todos los sujetos y no en todos los rangos. Algunas investigaciones sugieren una diferencia de aproximadamente 1,5 °C entre un estado base y un estado estimulado para determinar la significancia de la diferencia [1]

En esta prueba cuatro de los sujetos habían sido diagnosticados medicamente con anterioridad a estas pruebas. Se encontró que tres de ellos presentaron biomarcador en la nariz en los dos momentos, con temperaturas que estuvieron entre los (27,52-30,15) °C. Estos se identifican en la *Tabla 24* como (**). Con respecto a los estudiantes que participaron en la prueba piloto se encontró que el 80% presentaron biomarcador en la nariz en el momento I y el momento II.

La tabla que contiene la información anteriormente mencionada para la prueba de validación es presentada a continuación:

Tabla 23 Cambio de temperatura promedio (°C) del biomarcador ubicado en la (Nariz) para rangos de 10, 12, 14 y 16 por ciento categorizada por géneros y casos.

Sujeto \ Rango		10%		12%		14%		16%	
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
S1	T_I	26,64	0,79	26,64	0,79	26,61	0,77	26,60	0,76
	T_{II}	25,95	0,58	25,90	0,53	25,88	0,51	25,88	0,51
	Δ_T	-0,69	-0,21	-0,74	-0,26	-0,73	-0,26	-0,72	-0,25
S2 **	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	29,60	0,52	29,56	0,50	29,51	0,48	29,48	0,47
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S3	T_I	29,53	0,36	29,34	0,31	29,20	0,24	29,13	0,17
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	T_I	28,60	0,92	28,52	0,86	28,48	0,83	28,41	0,78
	T_{II}	26,06	1,23	25,94	1,15	25,84	1,08	25,72	0,99
	Δ_T	-2,54	0,31	-2,58	0,29	-2,64	0,25	-2,69	0,21
S5	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S6	T_I	29,08	0,49	28,99	0,49	28,87	0,36	28,92	0,31
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S7	T_I	30,70	0	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	31,04	0,27	30,70	0,10	30,77	0,08	30,62	0,04
	Δ_T	0,34	0,27	-	-	-	-	-	-
S8 **	T_I	27,66	0,48	27,63	0,44	27,56	0,41	27,50	0,38
	T_{II}	30,15	0,05	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	2,49	-0,43	-	-	-	-	-	-
S9 **	T_I	28,99	0,90	28,82	0,84	28,70	0,78	28,51	0,69
	T_{II}	28,37	1,4	28,14	1,35	27,96	1,25	27,70	1,09
	Δ_T	-0,62	0,5	-0,68	0,51	-0,74	0,47	-0,81	0,4
S10	T_I	26,71	0,70	26,59	0,62	26,52	0,58	26,42	0,52
	T_{II}	27,31	1,25	27,17	1,16	27,09	1,12	26,98	1,06
	Δ_T	0,6	0,55	0,58	0,54	0,57	0,54	0,56	0,54

(*) ROI sin cambios significantes de área.

...

...

Rango Sujeto		10%		12%		14%		16%	
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
S11	T_I	30,07	0,39	29,92	0,31	29,82	0,25	29,72	0,18
	T_{II}	30,12	0,27	30,04	0,21	29,98	0,18	29,93	0,15
	Δ_T	0,05	-0,12	0,12	-0,10	0,16	-0,07	0,21	-0,03
S12	T_I	28,86	0,98	28,07	0,68	27,95	0,60	27,87	0,60
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S13	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S14	T_I	28,45	1,35	28,34	1,30	28,28	1,28	28,16	1,22
	T_{II}	28,00	1,05	27,94	1,03	27,86	0,99	27,78	0,96
	Δ_T	-0,45	-0,3	0,4	-0,27	-0,42	-0,29	-0,38	-0,26
** S15 **	T_I	27,52	0,90	27,43	0,83	27,35	0,78	27,28	0,73
	T_{II}	28,15	1,04	28,11	1,01	28,01	0,96	27,91	0,90
	Δ_T	0,63	0,14	0,68	0,18	0,66	0,18	0,63	0,17
S16	T_I	30,25	0,19	30,18	0,15	30,14	0,12	30,07	0,09
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S17	T_I	31,36	0,12	31,30	0,10	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S18	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	29,74	0,32	29,53	0,27	29,44	0,24	29,41	0,22
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S19	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	30,18	0,41	29,54	0,38	29,40	0,36	29,28	0,36
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S20	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	30,09	1,36	30,02	0,34	29,97	0,34	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) ROI sin cambios significantes de temperatura

...

...

Rango Sujeto		10%		12%		14%		16%	
		\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
S21	T_I	29,53	0,85	29,41	0,79	29,36	0,78	29,26	0,74
	T_{II}	25,86	1,78	25,74	1,72	25,55	1,63	25,41	1,56
	Δ_T	-3,67	0,93	-3,67	0,93	-3,86	0,85	-3,85	0,82
S22	T_I	27,73	0,79	27,63	0,75	27,54	0,71	27,42	0,65
	T_{II}	29,12	0,64	29,06	0,65	28,97	0,64	28,42	0,34
	Δ_T	1,39	-0,15	1,43	-0,10	1,43	-0,07	1,0	-0,31
S23	T_I	23,83	0,11	23,83	0,11	23,83	0,10	23,83	0,09
	T_{II}	28,81	2,10	28,78	1,03	28,75	0,08	28,73	0,06
	Δ_T	4,98	1,99	4,95	0,92	4,92	-0,02	4,90	-0,03
S24	T_I	24,97	1,41	24,93	0,36	24,93	0,36	24,90	0,32
	T_{II}	28,03	0,34	28,02	0,34	28,01	0,34	27,99	0,34
	Δ_T	3,06	-1,07	3,09	-0,02	3,08	-0,02	3,09	0,02
S25	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S26	T_I	26,77	1,39	26,71	1,37	26,68	1,36	26,65	1,34
	T_{II}	26,21	0,94	26,18	0,93	26,17	0,90	26,12	0,88
	Δ_T	-0,56	-0,45	-0,53	-0,44	-0,51	-0,46	-0,53	-0,46
S27	T_I	27,03	0,18	27,00	0,14	26,98	0,12	26,96	0,12
	T_{II}	27,60	0,26	27,57	0,19	27,55	0,19	27,55	0,18
	Δ_T	0,57	0,08	0,57	0,05	0,57	0,07	0,59	0,06
S28	T_I	27,79	0,36	28,83	0,21	28,80	0,14	28,77	0,07
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S29	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-
S30	T_I	*	*	*	*	*	*	*	*
	T_{II}	*	*	*	*	*	*	*	*
	Δ_T	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) ROI sin cambios significantes de área.

...

4.3.4 Correlaciones

Momento I (Inicio de semestre académico):

En la *Tabla 25* se presentan las diferentes categorías localizadas en la prueba de validación. Donde se encontró que el 40% de los sujetos fueron verdaderos positivos (VP) presentando tanto presencia de ansiedad como biomarcador en la nariz. 26,67% fueron falsos positivos (FP) sin presencia de ansiedad; pero si biomarcador en la nariz. El 13,33% de los sujetos fueron falsos negativos (FN) no poseían presencia de ansiedad, ni localización del biomarcador en la nariz y el 16,67% fueron verdaderos negativos (VN), personas con presencia de ansiedad pero sin localización de biomarcador térmico en la nariz.

Tabla 24 Clasificación de los sujetos según las pruebas aplicadas en el momento I (Inicio de semestre académico)

		Diagnóstico con prueba Zung	
		Ansiedad positiva	Ansiedad negativa
Prueba termográfica ROI (Nariz)	Prueba positiva	VP	FP
		S1,S3,S4,S8,S9, S10,S12,S14,S15,S16,S17,S26	S6,S7,S21,S22,S23, S24,S27,S28
	Prueba negativa	FN	VN
		S13,S19,S25,S29	S2,S5,S18,S20,S30

Para obtener la curva ROC se hizo uso del paquete estadístico del software SPSS en donde se seleccionaron como variables de prueba los índices de ansiedad (Variable que indica enfermedad) y las temperaturas promedio de los biomarcadores (Variable de prueba). La variable de estado se determinó bajo la suposición de la respuesta clínica de la escala de Zung y la existencia del biomarcador, etiquetados como casos VP (Resultados positivos correctos). La variable de estado fue definida como 1 para la presencia de ansiedad y como 0 la inexistencia de esta. En la *Tabla 26* se muestra el resumen del procesamiento de casos.

Tabla 25 Resumen de los casos

Estado real del paciente	N válido (por lista)
Positivo	12
Negativo	18

Nuestra muestra se compuso de un total de 30 estudiantes de los cuales 12 padecían síntomas de

ansiedad en el momento I (Inicio de semestre) y 18 estaban sanos. La estimación de la curva ROC para dicho evento bajo ésta muestra fue:

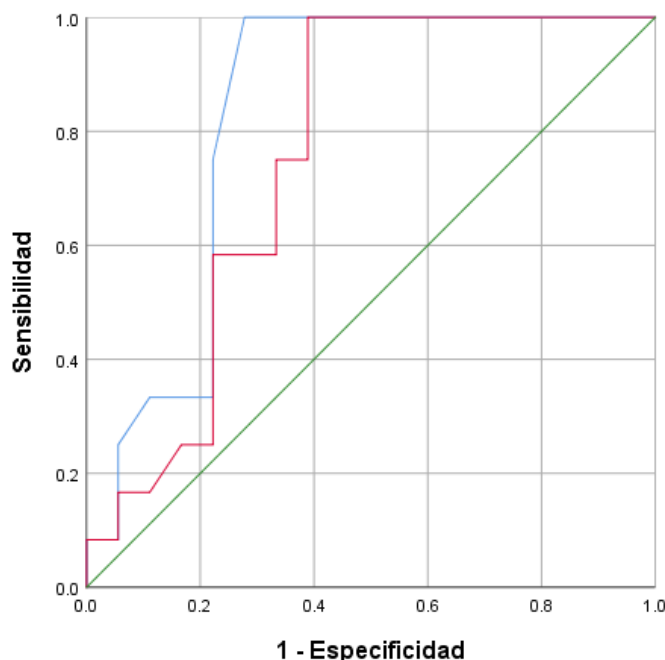


Fig. 22 Curva ROC (Inicio de semestre) Prueba de validación. Se marca en color azul la curva ROC para los I.E.A y en rojo la curva ROC los biomarcadores.

A partir de la curva ROC se pudo obtener información de las áreas bajo la curva AUC, error estándar e intervalo de confianza para las pruebas como se muestra en la *Tabla 27*.

Tabla 26 Variables de resultado para ambas pruebas en el momento I

Variables de resultado de prueba	Área	Desv. Error	Significación asintótica	95% de intervalo de confianza asintótico	
				Límite inferior	Límite superior
Índice de ansiedad	0,829	0,079	0,003	0,675	0,983
Biomarcador	0,757	0,089	0,019	0,582	0,932

Según la *Tabla 27* el valor estimado para el AUC del Biomarcador ubicado en la nariz fue de 75,7% al inicio del semestre, mientras que el AUC para los índices de ansiedad fue del 82,9%. Los límites del intervalo de confianza para el ROI estuvieron entre el (58,2-93,2) % mientras que para los I.E.A estuvieron entre (67,5-98,3) %. Según lo anterior la prueba termográfica en el momento I tuvo una buena capacidad discriminante en el diagnóstico, ya que el área bajo la curva fue superior a 0,5 (50%) de la probabilidad de seleccionar un sujeto con ansiedad, sin embargo fue inferior a 0,8 (80%). La prueba psicológica con un 82,9% se comportó como un buen test discriminatorio con probabilidades altas de selección de sujetos con ansiedad al igual

que la prueba termográfica. Lo anterior definió que los resultados termográficos obtenidos en este trabajo no son resultados del azar, sino que involucran una correlación de estados de ansiedad y cambios temperatura encontrados en el biomarcador para la nariz dentro del ROI facial [24].

Momento II (Semana de exámenes finales):

En la *Tabla 28* se presentan los diferentes casos localizados en la prueba de validación en el momento II. Donde se encontró que el 30% de los sujetos fueron verdaderos positivos VP presentando tanto presencia de ansiedad, como biomarcador en la nariz. 33,33% fueron falsos positivos FP, sin presencia de ansiedad; pero con biomarcador en la nariz. El 16,67% de los sujetos no poseían presencia de ansiedad ni biomarcador en la nariz FN, y el 20% fueron verdaderos negativos VN, personas con presencia de ansiedad, pero sin localización de biomarcador térmico en la nariz.

Tabla 27 Clasificación de los sujetos según las pruebas aplicadas en el momento II

		Diagnóstico con prueba Zung	
		Ansiedad positiva	Ansiedad negativa
Prueba termográfica ROI(Nariz)	Prueba positiva	VP	FP
		S1,S2,S8,S9,S10, S15,S18,S20,S26	S4,S7,S11,S14,S19 S21,S22,S23,S24,S27
	Prueba negativa	FN	VN
		S5,S6,S12,S25, S28	S3,S13,S16,S17,S29,S30

Tabla 28 Resumen de los casos

Estado real del paciente	N válido (por lista)
Positivo	9
Negativo	21

En el momento dos la muestra se compuso de los mismos 30 estudiantes del momento I. Se encontró que 9 de ellos padecían síntomas de ansiedad y 21 estaban sanos en la semana de exámenes finales. La estimación de la curva ROC para dicho evento bajo ésta muestra fue:

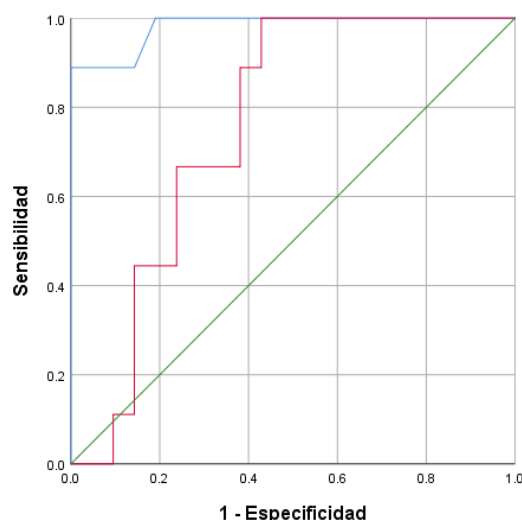


Fig. 23 Curva ROC (Exámenes finales) Prueba de validación. Se marca en color azul la curva ROC para los I.E.A y en rojo la curva ROC los biomarcadores.

Tabla 29 Variables de resultado para ambas pruebas en el momento II

Variables de resultado de prueba	Área	Desv. Error	Significación asintótica	95% de intervalo de confianza asintótico	
				Límite inferior	Límite superior
Índices de ansiedad	0,981	0,021	0,000	0,940	1,000
Biomarcador en la nariz	0,757	0,087	0,028	0,587	0,926

Según la *Tabla 30* el valor estimado para el AUC del Biomarcador ubicado en la nariz fue de 75,7% en semana de exámenes finales (Igual que en el momento I), mientras que el AUC para los índices de ansiedad fue del 98,1%. Los límites del intervalo de confianza para el ROI estuvieron entre el (58,7-92,6) % mientras que para los I.E.A estuvieron entre (94,0-100) %. Según lo anterior la prueba termográfica en el momento I tuvo una buena capacidad discriminante en el diagnóstico, ya que el área bajo la curva fue superior a 0,5 (50%) de la probabilidad de seleccionar un sujeto con ansiedad, sin embargo fue inferior a 0,8 (80%). La prueba psicológica con un 98,1 % se comportó como un excelente test discriminatorio, con probabilidades altas de selección de sujetos con ansiedad al igual que la prueba termográfica como lo señala la investigación de J.Cerda. Lo anterior definió que los resultados termográficos obtenidos en este trabajo no son resultado del azar, sino que involucran una correlación de estados de ansiedad y cambios de temperatura encontrados en el biomarcador para la nariz dentro del ROI facial. Con respecto a la prueba piloto la prueba de validación mostro la evolución de la curva ROC, exponiendo que al aumentar la población de estudio incrementó la capacidad discriminante del análisis ROI como diagnóstico de ansiedad académica; además es importante resaltar la capacidad clasificatoria de sujetos al usar la TIR en conjunto con la escala psicológica, lo cual puede permitir dar un diagnostico fiable y concreto.

5. Conclusiones y perspectivas

5.1 Conclusiones

En este trabajo de grado se evaluó la aplicabilidad de la técnica de termografía infrarroja para analizar el estado de ansiedad académica, y sus posibles cambios debido a exámenes finales, y se trataron de correlacionar estadísticamente los parámetros obtenidos de los termogramas, con respecto a la prueba de Zung de 20 puntos; el cual es el autoinforme usualmente empleado por el Programa de Acompañamiento Integral PAI de la Vicerrectoría de Bienestar Universitario de la Universidad Tecnológica de Pereira. Los principales hallazgos y conclusiones de esta tesis fueron:

- En este proyecto se ha diseñado e implementado un protocolo para la adquisición, procesamiento y análisis de imágenes termográficas como método diagnóstico de ansiedad académica a partir de la ejecución de una prueba piloto en nueve estudiantes de ingeniería física, probando el alto potencial de la TIR para evaluar las respuestas fisiológicas generadas por procesos psicológicos. La consistencia de la información obtenida en la prueba piloto fue revisada a partir de la determinación del tamaño mínimo de una muestra basada en estudios previos; esta prueba de validación consto de treinta estudiantes de ingeniería física: hombres y mujeres matriculados en el segundo semestre del año 2019.
- Se realizó la caracterización térmica del espacio en el que fueron adquiridas las imágenes termográficas, obteniendo las respectivas curvas de comportamiento de humedad y temperatura en dos diferentes experimentos (Registro con termohigrómetro) y (Registro con cámara termográfica). Esta caracterización permitió definir los parámetros térmicos óptimos para la adquisición de las imágenes termográficas, proceso en el cual se dispuso de instrumentos de control ambiental (Deshumidificador y Aire acondicionado) garantizando la aclimatación de la piel en un tiempo determinado de 10 minutos. El periodo de tiempo para las pruebas de esta investigación se mantuvo acorde al periodo de tiempo de la caracterización.
- Además se creó una aplicación en Matlab para identificar biomarcadores térmicos usando el contraste de la imagen para determinados rangos seleccionados. Estas aplicaciones permitieron la facilidad de análisis de los datos, siendo herramientas que pueden llegar a ser usadas en otras investigaciones. Se realizó una evaluación cuantitativa de los autoinformes al considerar la prueba de Zung de 20 puntos, mediante el cálculo del índice de ansiedad I.E.A al implementar un programa en Visual Studio 2010. La relación de los I.E.A con los parámetros clínicos mostró en general que esta prueba permite discriminar la ansiedad de estado de la ansiedad crónica o patológica, tanto en los dos momentos (al inicio y final de semestre), como en la prueba piloto y la prueba de validación.
- A partir de estadística descriptiva se logró determinar la fiabilidad de la prueba psicológica usada en esta investigación para la prueba piloto, obteniendo un $\alpha = 0,71$.en

el momento I y un $\alpha = 0,78$ en el momento II. Se pudieron correlacionar los índices de ansiedad psicológicos con los biomarcadores térmicos localizados en la nariz a partir de curvas ROC, encontrándose la evolución de las correlaciones cuando se tiene una muestra más grande y demostrando la capacidad discriminante de sujetos sanos y enfermos al usar la TIR. Fue posible determinar también los diferentes casos clasificatorios presentes en cada una de las pruebas para los diferentes momentos seleccionados mostrando que es posible unir la prueba psicológica con el hallazgo de biomarcadores térmicos para dar un diagnóstico concreto de ansiedad .

- Se determinó que en algunos casos había presencia de ansiedad tanto en el momento de exámenes finales como en el momento de inicio de semestre. En el caso de la prueba de validación, se evidencio que en ambos momentos las mujeres tuvieron porcentajes de ansiedad más altos que los hombres. Se encontraron casos no diagnosticados que infieren una posible cronicidad tanto en el autoinforme psicológico como en la evaluación termográfica y casos donde el autoinforme no mostraba presencia de ansiedad, pero el biomarcador manifestaba anomalías como cambios de temperatura consistentemente bajos en contraste con el resto del ROI en ambas pruebas.
- En este proyecto de investigación se ha aplicado gran parte de los conocimientos adquiridos durante la carrera sobre, programación, electromagnetismo, estadística además de ser un trabajo interdisciplinar al requerir más áreas del conocimiento como la psicología. La implementación de este protocolo ha permitido complementar una formación teórica y práctica con un aprendizaje multidisciplinar en interacción constante con programas como el PAI (Programa de acompañamiento integral) de la Universidad Tecnológica de Pereira.

5.2 Perspectivas

Con base en los resultados descritos en este trabajo se concluye que la TIR puede ser utilizada para evaluar diferentes condiciones relacionadas a procesos de termorregulación de la piel producidos por alteraciones psicológicas. La TIR es un mecanismo de evaluación fácil de emplear si se tienen en consideración aspectos ambientales y un buen diseño de aplicabilidad; no obstante es necesario seguir indagando en los procedimientos y métodos que permitan hacer de esta técnica un método diagnóstico repetible bajo condiciones médicas fuera de laboratorio. Las perspectivas a futuro de la aplicación de la TIR relacionada con aspectos psicológicos se presentan a continuación:

- Es posible implementar esta técnica como mecanismo de medición de la respuesta fisiológica (Térmica) de la ansiedad, sin embargo es necesario crear mecanismos de respetabilidad y herramientas que les permita a los diferentes profesionales poder aplicarla de una manera amigable.

- Es necesario reconsiderar los autoinformes que son aplicados en las instituciones de educación superior para el diagnóstico de ansiedad. La escala de ansiedad basada en estados como lo es la escala de Zung parece tener una fiabilidad aceptable para un alto porcentaje de los casos revisados, sin embargo si se trata de un caso crónico o un trastorno con prevalencia, se recomienda indagar en otro tipo de autoinformes como lo es el inventario de estado-rasgo de Spielberger.
- Luego de la realización del procesamiento de las imágenes, fue notorio la existencia de otros posibles biomarcadores como las mejillas y las falanges de las manos, en un gran porcentaje de los sujetos, tanto en la prueba piloto como en la prueba de validación. Es posible seguir indagando en el estudio de la ansiedad partiendo de la localización de otros biomarcadores diferentes al seleccionado en este trabajo.

En un futuro la termografía infrarroja puede llegar a ser implementada en los diferentes centros de acopio médico. Es fundamental para los investigadores y especialistas en el área clínica seguir indagando en los potenciales de esta técnica como un mecanismo no invasivo de realizar diagnósticos.

6. Referencias bibliográficas

- [1] A. Moliné, J. F. Gómez, and E. G. Milan, “The mental nose and the Pinocchio effect: Thermography, planning, anxiety, and lies,” no. February, pp. 1–15, 2018.
- [2] L. Roope, “Infrared thermography in the evaluation of skin temperature,” Dissertations in Forestry and Natural Sciences, 2015.
- [3] S. Ioannou, V. Gallese, and A. Merla, “Thermal infrared imaging in psychophysiology: Potentialities and limits,” vol. 51, pp. 951–963, 2014.
- [4] E. López, A. “Aplicación de la termografía a la psicología básica”, Tesis Doctoral, Departamento de Psicología Experimental, Granada España, 2013.
- [5] De La Ossa, Susana. Estudio de la consistencia interna y estructura factorial de tres versiones de la escala de Zung para la ansiedad. Colombia médica, Vol. 40, 2008
- [6] D. Pérez-Restrepo and J. Gómez-Martínez, “Prevalece of anxiety in university Student” vol. 11, no. 1, pp. 79–89, 2015.
- [7] M.Viedma “Mecanismos psicofisiológicos de la ansiedad patológica: Implicaciones clínicas” Tesis Doctoral, Departamento de personalidad, evaluación y tratamiento psicológico, Granada España, 2008.
- [8] V. Engert, A. Merla, J. A. Grant, D. Cardone, A. Tusche, and T. Singer, “Exploring the Use of Thermal Infrared Imaging in Human Stress Research,” vol. 9, no. 3, pp. 1–11, 2014.
- [9] “Evaluación de Termografía Tisular Diferenciada en Mama como Potencial Técnica para Asistir la Detección de Cáncer,” vol. 36, no. 1, pp. 65–75, 2015.
- [10] J. Américo, “Trastornos de ansiedad guía práctica para diagnóstico y tratamiento.”
- [11] M. Serrano, M. Núñez. “Estado del arte de la termografía infrarroja como herramienta en los procesos industriales” Tesis de grado, Universidad Pontificia Bucaramanga, 2011.
- [12] Testo Argentina SA. (2018). Recuperado el 10 de Julio de 2019, de <http://www.academiatesto.com.ar>
- [13] La termografía en la industria del plástico. Disponible en internet: (<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/31411-La-termografia-en-la-industria-del-plastico.html>)
- [14] C. Guerrero, “Evaluación de Termografía Tisular Diferenciada en Mama como Potencial Técnica para Asistir la Detección de Cáncer,” vol. 36, no. 1, pp. 65–75, 2015.
- [15] I. Chlebicka, Ł. Matusiak, J. Maj, E. Baran, and J. C. Szepietowski, “Freezing Fingers

Syndrome, Primary and Secondary Raynaud “ s Phenomenon: Characteristic Features with Hand Thermography,” pp. 428–432, 2013.

[16] J. Kang, J. A. McGinley, and G. Mcfadyen, “Determining learning level and effective training times using thermography,” pp. 1–6, 2006..

[17] J. Green, “Neurothermography,” vol. 7, no. 4, 1987.

[18]C. Dakin, “Self-monitoring of Raynaud’s phenomenon with FLIR ONE ® PRO,” Imaging Sci. J., vol. 66, no. 5, pp. 314–319, Jul. 2018.

[19] C. Carrasco and E. G. F. Suay, “Ansiedad y respuestas electrofisiológicas a una tarea de estrés mental tras,” pp. 19–29, 1995.

[20] Alba L. Salud de la adolescencia en Colombia: Bases para una medicina de prevención. Universitas Medical 51(1), 29-42, 2010

[21] B. K. Biswas and Y. Hamada, “Perception of thermal comfort and prediction of heat stress (PHS) due to heat gain in tropical university classrooms,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 1086, no. 1, 2018.

[22] Joint Committee for Guides in Metrology, Francia. “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)”, [Archivo PDF en línea]. Sèvres: JCGM, 2008. Disponible en Internet: (https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf).

[23] *Evaluar consistencia interna* (2012). *Disponible en internet:* (<https://www.xuletas.es/ficha/confiabilidad/>)

[24] J. C. Lorca, “Uso de curvas ROC en investigación clínica. Aspectos teórico-prácticos,”. *Revista Chil Infect*, 2012.

[25] I. A. Cruz-albarran, J. P. Benitez-rangel, R. A. Osornio-rios, and L. A. Morales-hernandez, “Infrared Physics & Technology Human emotions detection based on a smart-thermal system of thermographic images,” *Infrared Phys. Technol.*, vol. 81, pp. 250–261, 2017.

Anexos

Anexo 1 (Eventos)

Algunas partes de este trabajo de grado han sido objeto de distintas ponencias en encuentros académicos, de carácter nacional. A continuación se especifican los diferentes escenarios de divulgación:

Autores: Erika Mariana Alzate Posso, Milton Medina Barreto, Beatriz Cruz Muñoz

Título: Evaluación del Estrés Mediante Imágenes Termográficas

Tipo de participación: Poster

Evento: VII Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación de Risaralda. Pereira, Colombia, Mayo 17, 2017.

Autores: Erika Mariana Alzate Posso, Milton Medina Barreto, Beatriz Cruz Muñoz

Título: Evaluación del Estrés Mediante Imágenes Termográficas

Tipo de participación: Poster

Evento: VII Encuentro Regional de Semilleros de Investigación. Manizales, Colombia, Octubre 18, 2017.

Autores: Erika Mariana Alzate Posso, Milton Medina Barreto, Beatriz Cruz Muñoz

Título: Análisis Termográfico como Herramienta para la Caracterización y Evaluación del Desorden de Ansiedad Académica en Estudiantes de Pregrado

Tipo de participación: Ponencia oral

Evento: VIII Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación de Risaralda. Pereira, Colombia, Mayo 16, 2018.

Autores: Erika Mariana Alzate Posso, Milton Medina Barreto, Beatriz Cruz Muñoz

Título: Análisis Termográfico como Herramienta para la Caracterización y Evaluación del Desorden de Ansiedad Académica en Estudiantes de Pregrado

Tipo de participación: Ponencia oral

Evento: VIII Encuentro Regional de Semilleros de Investigación de Risaralda. Pereira, Colombia, Octubre 24, 2018.

Autores: Erika Mariana Alzate Posso, Milton Medina Barreto, Beatriz Cruz Muñoz

Título: Exploring Infrared Thermography for the Evaluation of Academic Anxiety Disorder in University Students: Pilot Test

Tipo de participación: Ponencia oral

Evento: Congreso Colombiano de psicología. Barranquilla, Colombia, Septiembre 14, 2019

Uno de los resultados de este trabajo en cuanto a su divulgación fue la obtención de la beca de **jóvenes investigadores Alianza Sena-Colciencias** en el año 2019. Con un contrato de prácticas de seis meses desarrollando el proyecto titulado: Explorando la Termografía Infrarroja para la Evaluación del Trastorno por Ansiedad Académica en Estudiantes Universitarios. Proyecto con el cual fue posible realizar la prueba de validación

Anexo 2 (Modelo de Consentimiento informado)

El consentimiento informado para la prueba piloto se presenta en la *figura 1*, posteriormente se muestra el consentimiento informado de la prueba de validación en la *figura 2*.

UTP Universidad Tecnológica de Pereira		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
Version: 01	Página: 01	Fecha: ____/____/____	
DATOS GENERALES			
Responsable del estudio: Grupo de investigación en propiedades magnéticas y magnetoopticas de nuevos materiales – Facultad de Ciencias Básicas – Universidad Tecnológica de Pereira			
Nombre Investigador principal: Erika Mariana Alzate Posso			
Cédula de Ciudadanía: 1098338391 de Pereira			
Cargo: Estudiante de ingeniería Física			
Nombre del proyecto: "EXPLORANDO LA TERMOGRAFIA INFRAROJA PARA LA EVALUACIÓN DEL TRANSITORIO POR ANSIEDAD ACADÉMICA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS"			
DATOS PARTICIPANTE			
Nombre: _____			
Cédula de Ciudadanía: _____ de _____		Edad: ____ años	
Teléfono: _____			
INVITACIÓN			
A usted se le está invitando a participar en este estudio de investigación experimental. El propósito de este proyecto es estudiar, determinar y cuantificar el nivel de ansiedad académica producida por la carga de parciales al final del semestre académico usando termografía infrarroja. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes apartados. Siéntase con absoluta libertad de preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto. Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento.			
JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO: La justificación de este proyecto radica en la necesidad de realizar un estudio diagnóstico de la ansiedad académica usando termografía infrarroja como método diagnóstico y comparativo.			
OBJETIVO DEL ESTUDIO: A usted se le está invitando a participar en un estudio de investigación que tiene como objetivo diseñar e implementar un protocolo que permita estandarizar la adquisición, procesamiento y posterior análisis de imágenes infrarrojas, como técnica diagnóstica de ansiedad académica en estudiantes universitarios.			
PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO: En caso de aceptar participar usted estará durante este procedimiento frente a la cámara termográfica TI300 a una distancia de 2m aproximadamente y se le tomarán imágenes termográficas del rostro y de las manos. Primero se enfrentará a responder un test psicológico cuerpo.			

UTP Universidad Tecnológica de Pereira		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
Version: 01	Página: 02	Fecha: ____/____/____	
EQUIPO UTILIZADO			
TERMOHIGRÓMETRO		CÁMARA TERMOGRÁFICA Fluke TI300	
El termohigrómetro digital Hygro HTC-303A es un tipo de estación meteorológica que se caracteriza por disponer de un termómetro y un higrómetro, por lo que puede medir la temperatura ambiente y la humedad relativa; información suficiente para determinar si una habitación está en condiciones de confort o no. Se utiliza en este estudio básicamente para controlar la temperatura ambiente y la humedad relativa de la habitación en que se realizan las pruebas. No tiene contacto físico con usted.		La cámara termográfica Fluke TI300 es un dispositivo que sin entrar en contacto con el cuerpo detecta la energía infrarroja y la convierte en una señal eléctrica para luego ser procesada en una imagen térmica, la cual proporciona un mapa de gradientes térmicos en tiempo real. Se utiliza en el estudio para hacer mediciones de la temperatura de la superficie ocular, no es invasiva puesto que no tiene contacto directo con usted.	
ACLARACIONES			
<ul style="list-style-type: none"> • Si usted presenta antecedentes de enfermedades como hipertensión, diabetes, fiebre o migraña, absténgase de participar en el estudio, pues estas enfermedades pueden alterar los datos de temperatura. • Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria. • No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio. • No recibirá pago por su participación. 			
CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO			
Yo, _____ identificado (a) con cédula de ciudadanía _____ de _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado (a) y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos, no he tenido que recibir pago o hacer gasto alguno por mi participación en la toma de medidas. Acepto voluntariamente participar en este estudio de investigación.			
Para su constancia se firma a los ____ días del mes de _____ del año _____ en la ciudad de Pereira.			
Firma del participante _____		Firma del investigador _____	

Anexo. Fig. 1 Consentimiento informado prueba de piloto



UTP Universidad Tecnológica de Pereira		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA COMITÉ DE BIOÉTICA	
Versión ORIGINAL		Página 1 de 3	
CONSENTIMIENTO INFORMADO			
En este consentimiento informado usted declara por escrito su libre voluntad de participar, luego de comprender en que consiste la investigación EXPLORANDO LA TERMOGRAFIA INFRAROJA PARA LA EVALUACIÓN DEL TRANSITORIO POR ANSIEDAD ACADÉMICA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS adelantada por el Grupo de investigación en Propiedades Magnéticas y Magnetoopticas de Nuevos Materiales en acompañamiento del grupo de Electrofisiología de la Universidad Tecnológica de Pereira. Le solicitamos colaborar de la manera más honesta y completa posible.			
Objetivo de la Investigación: Diseñar e implementar un protocolo que permita estandarizar la adquisición, procesamiento y posterior análisis de imágenes infrarrojas, como técnica diagnóstica de ansiedad académica en estudiantes universitarios. Para ello deberán cumplirse los siguientes objetivos específicos.			
Justificación de la Investigación: La termografía infrarroja como técnica de diagnóstico está siendo fuertemente implementada en la actualidad, especialmente en el análisis de estados fisiológicos y clínicos, que involucran disciplinas y conocimientos de diferentes áreas de la investigación. La ansiedad por su parte es un proceso psicofisiológico que produce alteraciones en el cuerpo, como puede ser cambios importantes en la temperatura de algunas zonas de este (Biomarcadores), y la termografía infrarroja como técnica nos permite detectar dichos cambios. La importancia de un diagnóstico exhaustivo de esta variable radica en que permite tomar medidas preventivas que eviten que esta llegue a un estado crónico. En términos educativos la salud mental es especial la ansiedad cobra gran valor al ser estudiada y analizada en el ámbito académico con técnicas cada vez más eficientes y conocimientos de diferentes profesionales.			
Procedimientos: El sujeto deberá firmar el presente consentimiento informado, posteriormente se presentará en el laboratorio 1-125 el día citado. Asistemáticamente llenará un formulario visual acerca de su información académica y algunos aspectos de su información personal. El día de la prueba deberá dar respuesta al test de ansiedad basado en la escala de Zung de 20 puntos; posteriormente se le harán medidas de temperatura corporal, e índice masa y se someterá a 10 minutos de aclimatación en donde el sujeto no podrá tener contacto con ningún objeto y estará sentado frente a la cámara, por último se obtendrán imágenes del rostro y de las manos del sujeto.			

UTP Universidad Tecnológica de Pereira		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA COMITÉ DE BIOÉTICA	
Versión ORIGINAL		Página 2 de 3	
Factores y riesgos: Esta es una investigación de (Riesgo mínimo) En la cual se realizarán medidas de variables fisiológicas como temperatura e índice de masa corporal, además de la adquisición de imágenes termográficas del rostro y las manos.			
Garantía de respuesta a inquietudes: los participantes recibirán respuesta a cualquier pregunta que les surja acerca de la investigación.			
Garantía de libertad: La participación en el estudio es libre y voluntaria. Los participantes podrán retirarse de la investigación en el momento que lo deseen, sin ningún tipo de consecuencia.			
Garantía de información: los participantes recibirán toda información significativa que se vaya obteniendo durante el estudio.			
Confidencialidad: los nombres de las personas y toda información que proporcionada, serán tratados de manera privada y con estricta confidencialidad, estos se consolidarán en una base de datos como parte del trabajo investigativo. Solo se divulgará la información global de la investigación, en un informe en el cual se omitirán los nombres propios de las personas de las cuales se obtenga información.			
Recursos económicos: en caso que existan gastos durante el desarrollo de la investigación, serán cubiertos con el presupuesto de la investigación.			
A quien contactar: Nombre: Erika Mariana Alzate Posso Teléfono: 3221866040 Email: mariana95@utp.edu.co			
Certifico que he leído la anterior información, que entiendo su contenido y que estoy de acuerdo en participar en la investigación. Se firma en la ciudad de _____ a los ____ días, del mes _____ del año 2019.			
Nombre del Informado _____ Cédula: _____		Firma Huella del Informado _____	

Anexo. Fig. 2 Consentimiento informado prueba de validación

Anexo 3 (Formulario personal)

Como formulario personal fue empleado un único documento en la prueba piloto y dos documentos diferentes en la prueba de validación.

FORMULARIO

Universidad Tecnológica de Pereira				Análisis del estrés (Test) ETAPA II			
Lugar y fecha de prueba:		Lugar: Universidad Tecnológica de Pereira		hora de prueba:			
Nombre y apellidos:		Fecha:		Fecha de nacimiento:			
Estatura:		Edad:		Peso:		Lugar de nacimiento:	
Teléfono:		Correo electrónico:		Dirección:			
Información académica		Programa académico:		Ingeniería Física			
Semestre actual:		Cantidad de semestres cursados:		Número de materias matriculadas:			
Promedio semestre anterior:		¿Realizo intersemestral? Si/No		¿Qué materia o materias vio en el intersemestral?			
Información Personal							
Estado civil:		¿Reside permanentemente en la ciudad de Pereira? Si/no					
¿Tiene hijos? Si es afirmativo, especifique cuántos. Si no deje en blanco.				¿Trabajo en vacaciones? Si/No			
Si trabajo ¿Cuántas horas lo hizo y en qué horario? Si no dejar en blanco							
Últimamente ha tenido cuadros depresivos				¿Sufre usted de ansiedad?			
Marque 1, 2 o 3 a las siguientes preguntas de acuerdo con la siguiente información 1. No 2. Un poco 3. Si							
¿Siente ansiedad por el inicio de clases?		¿Ha presentado dolores de cabeza en los últimos cinco días?		¿Ha presentado dolores de cabeza en los últimos cinco días?			
¿Ha presentado dolores en el cuello en los últimos cinco días?		¿Ha presentado dolores lumbares en los últimos cinco días?		¿Ha presentado dolores lumbares en los últimos cinco días?			
¿Ha presentado dolores estomacales en los últimos cinco días?		¿Ha presentado dolores estomacales en los últimos cinco días?		¿Ha tenido cuadro de fiebre o gripe la última semana?			
¿Ha sentido pérdida de visión en los últimos		¿Se ha sentido desconcentrado los últimos		¿Se ha sentido desconcentrado los últimos			

Marque la opción que considere pertinente											
¿De uno a cinco que tanto considera que ejerce la universidad presión emocional sobre usted?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5					
1	2										
3	4										
5											
¿De uno a cinco que tanto nivel de estrés considera tiene el día de hoy?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5					
1	2										
3	4										
5											
¿De 1 a 5 qué tanta ansiedad siente antes de iniciar clases este semestre?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1.</td><td>No tengo Ansiedad</td></tr> <tr><td>2.</td><td>Estoy confiado</td></tr> <tr><td>3.</td><td>Estoy un poco Ansioso</td></tr> <tr><td>4.</td><td>Estoy Ansioso</td></tr> <tr><td>5.</td><td>(Me sudan las manos, siento palpitaciones aceleradas, no he podido dormir)</td></tr> </table>	1.	No tengo Ansiedad	2.	Estoy confiado	3.	Estoy un poco Ansioso	4.	Estoy Ansioso	5.	(Me sudan las manos, siento palpitaciones aceleradas, no he podido dormir)
1.	No tengo Ansiedad										
2.	Estoy confiado										
3.	Estoy un poco Ansioso										
4.	Estoy Ansioso										
5.	(Me sudan las manos, siento palpitaciones aceleradas, no he podido dormir)										

¿Se ha sentido solo o angustiado en los últimos cinco días?	¿Se considera una persona agresiva o con tendencias violentas?	¿Se considera una persona pacífica?
¿Practica algún deporte o actividad física?	¿Come usted las tres comidas reglamentarias?	¿Tiene horarios fijos establecidos para comer?
¿Se siente cansado antes de iniciar clases?	¿Por qué?	

Observaciones:

Anexo. Fig. 3 Formulario personal para la obtención de información en la prueba piloto

Universidad Tecnológica de Pereira				Nº 1			
Nombres y apellidos:				Sexo: F M Edad:			
Fecha y lugar de nacimiento:							
Teléfono:		Correo electrónico:					
Información académica		Programa académico:		Ingeniería física			
Cantidad de semestres matriculados a la fecha		Semestre matriculado para el periodo actual:		Número de materias matriculadas semestre actual:			
Información Personal							
Estado civil:		¿Tiene hijos? SI NO		¿Trabaja? SI NO		Horas trabajadas a la semana	
¿Ha sido alguna vez diagnosticado médicamente con ansiedad?				SI NO			
Escribir Si o No dando respuesta							
Siente temor por la presentación de exámenes				Come usted las tres comidas reglamentarias			
Ha presentado dolores de cabeza en los últimos quince días				Ha presentado dolores lumbares en los últimos quince días			
Ha presentado dolores estomacales en los últimos quince días				Ha tenido cuadro de fiebre o gripe la última semana			
Ha sentido pérdida de visión en los últimos quince días				Se ha sentido desconcentrado los últimos quince días			
Ha tenido escenas de pánico los últimos quince días				Se ha sentido solo o angustiado en los últimos quince días			
Ha tenido conflictos de carácter relevante los últimos quince días				Se considera una persona agresiva o con tendencias violentas			
Considera que usted se enfada con facilidad				Se considera una persona pacífica			
Alguna vez ha estado relacionado con conductas suicidas				Practica algún deporte o actividad física			
Si practica algún deporte con qué frecuencia lo practica				Practica alguna actividad extra curricular (Música, lectura, danzas e.t.c)			
Tiene horarios fijos establecidos para comer				¿Considera usted que la vida universitaria genera un nivel considerable de ansiedad en usted?			

Universidad Tecnológica de Pereira				Nº 1			
Nombres y apellidos:				Sexo: F M Edad:			
Fecha y lugar de nacimiento:							
Teléfono:		Correo electrónico:					
Información académica		Programa académico:		Ingeniería física			
Cantidad de semestres matriculados a la fecha		Semestre matriculado para el periodo actual:		Número de materias matriculadas semestre actual:			
Número de parciales realizados hoy		Número de parciales que le faltan esta semana		Cantidad total de parciales realizados esta semana			
Información Personal							
Estado civil:		¿Tiene hijos? SI NO		¿Trabaja? SI NO		Horas trabajadas a la semana	
¿Ha sido alguna vez diagnosticado médicamente con ansiedad?				SI NO			
Escribir Si o No dando respuesta							
Siente temor por la presentación de exámenes				Come usted las tres comidas reglamentarias			
Ha presentado dolores de cabeza en los últimos quince días				Ha presentado dolores lumbares en los últimos quince días			
Ha presentado dolores estomacales en los últimos quince días				Ha tenido cuadro de fiebre o gripe la última semana			
Ha sentido pérdida de visión en los últimos quince días				Se ha sentido desconcentrado los últimos quince días			
Ha tenido escenas de pánico los últimos quince días				Se ha sentido solo o angustiado en los últimos quince días			
Ha tenido conflictos de carácter relevante los últimos quince días				Se considera una persona agresiva o con tendencias violentas			
Considera que usted se enfada con facilidad				Se considera una persona pacífica			
Alguna vez ha estado relacionado con conductas suicidas				Practica algún deporte o actividad física			
¿Considera usted que la anomalía académica de los últimos días, ha incrementado sus niveles de ansiedad?				Practica alguna actividad extra curricular (Música, lectura, danzas e.t.c)			
Tiene horarios fijos establecidos para comer				¿Considera usted que la vida universitaria genera un nivel considerable de ansiedad en usted?			

Anexo. Fig. 4 Formularios personales usados en la prueba de validación. Primero se muestra el utilizado en el momento I y posteriormente el usado en el momento II

Anexo 4 (Formulario de reporte de cada ensayo)

DATOS PRELIMINARES							
Nombre responsable de la medición		Erika Mariana Alzate					
Ubicación toma de medidas		1A-125					
Fecha toma de medidas		DD		MM		AAAA	
Hora de inicio (hh:mm)				Hora de finalización (hh:mm)			
MEDIDAS PRELIMINARES							
Nombre del participante				Distancia Cámara-sujeto (cm)			
Estatura				Peso del participante (Kg)			
Emisividad reportada				Peso de carga(Kg)			
Temperatura corporal (°C)				Temperatura de segundo plano (°C)			
EQUIPO UTILIZADO							
TERMOHIGRÓMETRO							
Marca	Hygro		Temperatura Ambiente (°C)		Humedad relativa (%)		
Modelo	HTC-303A						
Número de serie	161175						
CÁMARA TERMOGRÁFICA Fluke Ti300							
Marca	Fluke		Observaciones: La cámara termográfica Ti300 es un dispositivo que detecta la energía infrarroja y la convierte en una señal eléctrica para luego ser procesada en una imagen térmica. El rango de medición comienza en -20°C asciende a 650 °C.				
Modelo	Ti300						
Número de serie	14030516						
CONDICIONES AMBIENTALES							
Área de la prueba (m2)			Temperatura ambiente inicial (°C)				
Humedad relativa inicial (%)			Temperatura ambiente final(°C)				
Humedad relativa final (%)			Altura de la silla				

Anexo 5 (Tablas de los diferentes tamaños del biomarcador para la prueba de validación)

En la prueba de validación fueron registrados además de las temperaturas promedio de los ROI'S, los tamaños de estos. Determinar el tamaño de los biomarcadores térmicos es importante debido a que estos marcan que tan grande fue el contraste del biomarcador con el resto de la imagen. Anteriormente se mencionó que a medida que se aumentaba el rango, el biomarcador tendía a disminuir de tamaño. A continuación se presentan las tablas que representan los tamaños del biomarcador situado en la nariz para los 30 sujetos en los dos momentos seleccionados de la prueba de validación.

Anexo. Tabla 1 Tamaños del biomarcador ubicado en la nariz de los 30 sujetos en los dos momentos seleccionados para los rangos de 10, 12, 14 y 16 por ciento. En esta tabla se han marcado con rojo los incrementos de tamaño y en azul los decrementos según el delta de área.

Rango Sujeto		10%	12%	14%	16%
S1	A_I	1,27	1,20	1,07	0,97
	A_{II}	1,79	1,62	1,53	1,42
	Δ_A	0,52	0,42	0,46	0,45
S2	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	2,25	2,13	1,59	1,86
	Δ_A	-	-	-	-
S3	A_I	0,88	0,41	0,30	0,24
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S4	A_I	2,21	2,11	2,05	1,92
	A_{II}	2,09	1,94	1,88	1,78
	Δ_A	-0,12	-0,17	-0,17	-0,14
S5	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S6	A_I	2,22	1,95	1,62	1,34
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S7	A_I	0,05	*	*	*
	A_{II}	1,71	0,28	0,23	0,13
	Δ_A	1,66	-	-	-
S8	A_I	1,18	1,09	1,02	0,92
	A_{II}	0,06	*	*	*
	Δ_A	-1,12	-	-	-
S9	A_I	1,39	1,22	1,10	0,91
	A_{II}	2,29	2,06	1,89	1,66
	Δ_A	0,9	0,84	0,79	0,75
S10	A_I	0,90	0,79	0,74	0,65
	A_{II}	1,56	1,45	1,39	1,31
	Δ_A	0,66	0,66	0,65	0,66

Sujeto \ Rango		10%	12%	14%	16%
S11	A_I	0,56	0,43	0,33	0,25
	A_{II}	0,27	0,22	0,18	0,15
	Δ_A	-0,29	-0,21	-0,15	-0,10
S12	A_I	0,74	0,38	0,34	0,30
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S13	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S14	A_I	1,89	1,78	1,71	1,61
	A_{II}	2,15	1,08	1,96	1,83
	Δ_A	0,26	0,20	0,25	0,22
S15	A_I	2,08	1,98	1,89	1,78
	A_{II}	1,83	1,79	1,68	1,58
	Δ_A	-0,25	-0,19	-0,21	-0,20
S16	A_I	0,29	0,23	0,18	0,14
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S17	A_I	1,18	0,04	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S18	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	1,10	9,08	0,70	0,62
	Δ_A	-	-	-	-
S19	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	1,87	1,67	1,47	1,15
	Δ_A	-	-	-	-
S20	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	0,68	0,56	0,48	*
	Δ_A	-	-	-	-

Sujeto \ Rango		10%	12%	14%	16%
S21	A_I	1,63	1,48	1,40	1,26
	A_{II}	2,46	2,37	2,20	2,08
	Δ_A	0,83	0,89	0,80	0,82
S22	A_I	1,48	1,35	1,23	1,06
	A_{II}	1,30	1,18	1,03	0,53
	Δ_A	-0,48	-0,17	-0,20	-0,53
S23	A_I	1,27	1,13	0,98	0,86
	A_{II}	0,86	0,67	0,40	0,34
	Δ_A	-0,41	-0,46	-0,58	-0,52
S24	A_I	1,22	1,32	1,27	1,14
	A_{II}	0,86	0,78	0,74	0,68
	Δ_A	-0,36	-0,54	-0,53	-0,46
S25	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S26	A_I	1,40	1,45	1,35	1,25
	A_{II}	1,64	1,60	1,42	1,38
	Δ_A	0,24	0,15	0,07	0,13
S27	A_I	2,10	1,27	0,29	0,27
	A_{II}	0,45	0,38	0,35	0,34
	Δ_A	-1,65	-0,89	0,06	0,07
S28	A_I	0,70	0,51	0,47	0,38
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S29	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-
S30	A_I	*	*	*	*
	A_{II}	*	*	*	*
	Δ_A	-	-	-	-

Anexo 6 (Artículo para publicación)

Explorando la termografía infrarroja para la evaluación del trastorno por ansiedad académica en estudiantes universitarios: prueba piloto

Erika Mariana Alzate, Milton Humberto Medina, Beatriz Cruz Muñoz

Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingenierías, Departamento de ciencias básicas,

Grupo de investigación en propiedades magnéticas y magnetoópticas de nuevos materiales, Cra. 27 #10-02, Pereira, Colombia, 660003

Abstract. Este trabajo presenta una metodología no-invasiva para obtención de imágenes térmicas biomédicas (termogramas), cuya información puede ayudar en el diagnóstico de la ansiedad académica. Fueron adquiridos termogramas del rostro de nueve estudiantes del programa de Ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira con la intención de localizar zonas de posibles biomarcadores como indicadores de respuesta térmica a la ansiedad en el momento de presentación de exámenes finales y el momento de inicio de semestre. El análisis de los resultados se llevó a cabo a partir de la correlación mediante curvas ROC del autoinforme de evaluación de ansiedad de 20 puntos Zung y la localización térmica de biomarcadores en la nariz. La fiabilidad de la escala psicológica fue en promedio $\alpha = 0,76$ en los dos momentos. Se logró evidenciar que la capacidad discriminante del análisis térmico fue en promedio 55,35% en comparación con el autoinforme psicológico sugiriendo la necesidad de una prueba de validación que permita respaldar la información obtenida y cuyo tamaño de muestra pudo ser determinado en esta investigación.

Keywords: Ansiedad, Biomarcador térmico, Escala de Zung, Termograma.

1. Introduction

La neurotermografía es un método desarrollado desde la década de los ochenta el cual permite examinar el sistema nervioso a partir del estudio de la piel como órgano termoregulatorio. De acuerdo con Grenn, en ese momento los estudios clínicos mostraron que la asimetría en la temperatura superficial puede ser altamente correlacionada con disfunciones nerviosas periféricas [1]. Este método se basa en el uso de la técnica conocida actualmente como termografía infrarroja (TIR), la cual es una técnica que permite medir la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia y sin tener contacto directo con él, interpretando esta radiación como la temperatura del objeto en una pantalla [2]. La técnica TIR actualmente es aplicada a multitud de áreas de la ingeniería o la medicina, en las cuales se hace necesario considerar técnicas que no sean invasivas para el monitoreo y diagnóstico. El fundamento del uso de la técnica en la medicina, reside en que los cambios de temperatura corporales son evidencias de que existen condiciones médicas particulares, vinculadas a la existencia de patologías; estas condiciones están relacionadas con la inflamación que produce la patología en cuestión, y por tanto en cambios en la emisión de calor que pueden ser detectadas y registradas en una cámara termográfica [3]. En los últimos 20 años la aplicación de la termografía a la medicina ha hecho posible que otras disciplinas, como la psicología conozcan el potencial del cambio de temperatura corporal como posible correlación fisiológica de procesos psicológicos básicos [4].

La ansiedad se considera un proceso psico-biológico básico el cual se manifiesta como respuesta a estresores o situaciones de amenaza y definen el comportamiento de los individuos [5]. Existen muchas situaciones en el ámbito universitario que pueden tener impacto negativo en la salud mental y física, los cuales favorecen la aparición de la ansiedad. En Colombia se presentan múltiples situaciones que aumentan el riesgo de padecer trastornos mentales; en particular de la ansiedad, entre las cuales se incluyen: dificultades en el acceso a educación, intensa migración urbana, falta de capacitación laboral, delincuencia, y consumo de sustancias tóxicas. Según la Encuesta Nacional de Salud Mental de 2003 existe una alta tasa de prevalencia de trastornos mentales, dentro de los cuales los trastornos de ansiedad son de mayor prevalencia que otros, en particular en adolescentes y jóvenes [6].

Actualmente se conocen diferentes mecanismos de diagnóstico para la ansiedad. Uno de los más usados es la evaluación mediante el autoinforme, el cual corresponde al uso de inventarios, cuestionarios y escalas como el inventario de ansiedad estado-rasgo de Spielberger, la escala de ansiedad manifiesta de Taylor [7] y la escala de ansiedad de Zung (ZAS por sus siglas en inglés); siendo esta última una de las más aplicadas y aceptadas en Colombia dentro del ámbito académico [5]. Sin embargo, aunque estas herramientas facilitan dar una consideración del estado ansioso de una persona y a pesar de su gran facilidad de aplicabilidad, carecen de especificidad y objetividad que puede presentarse al responder los diferentes cuestionarios. Por lo tanto, se hace presente la necesidad de contribuir investigativamente en nuevas técnicas que permitan llegar a un diagnóstico complementario para estas pruebas.

Existen otro tipo de métodos basados en la evaluación de respuestas fisiológicas que funcionan como marcadores para evaluar la ansiedad, como lo son la tasa cardíaca y el cortisol producto del eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (HPA),

los cuales requieren el uso de procedimientos como electrocardiogramas (ECG) y encefalogramas (EEG) que en comparación con el análisis de la actividad térmica de la piel medida con termografía infrarroja (TIR), resultan ser sistemas complejos que requieren un acondicionamiento de señal que por lo general no resulta ser simple [8]. Los estudios demuestran la fiabilidad de la TIR comparando esta técnica repetidas veces con otras como las mencionadas anteriormente [3]. Sin embargo, esta técnica tiene la desventaja de requerir un exhaustivo control de las condiciones ambientales y un proceso de aclimatación térmica de la piel si es un estudio realizado sobre seres orgánicos.

En esta investigación avalada por el comité de bioética de la Universidad Tecnológica de Pereira; se presenta un desarrollo metodológico e investigativo que tiene como objetivo usar la TIR como técnica diagnóstica de ansiedad académica a partir de la identificación de biomarcadores térmicos, en correlación con estados de ansiedad ante exámenes finales usando la escala de ansiedad de Zung.